

中華技術

CECI

ENGINEERING

TECHNOLOGY

148

October/2025

2025.10.31 出版

嶄新樞紐—新契機

《人物專訪》

承先啟後，開展工程顧問業的新視野與新藍圖
專訪台灣世曦廖學瑞總經理

《工程論著》

淺析高鐵站區開發案人行立體連通規劃處理
高架車站通風降溫與節能設計策略探討

《專題報導》

三鶯線捷運節能減碳規劃設計

臺灣飛機維修公司新二機棚設計經驗分享

郵輪旅運服務設施設計—以澎湖馬公及龍門尖山為例

T3機坪設施工程嶄露鋒芒

打造陸空轉運核心及生活樞紐—桃地中壢站整體規劃

臺鐵車輛檢修新篇章—潮州機廠的規劃、建設與前瞻應用

液化地層隧道環片外灌漿配置之抗浮效益分析

兆元投資公共建設新契機

探討捷運設施委託投資人興建機制



財團法人中華顧問工程司 發行

CECI



台灣世曦工程顧問股份有限公司 企劃

October/2025

148

嶄新樞紐—新契機

中華
技術
CECI

ENGINEERING
TECHNOLOGY



中華技術 CECI ENGINEERING TECHNOLOGY

No.148
October/2025

目錄

Contents



訂閱
中華技術電子書



中華顧問
中華技術電子書平台



台灣世曦
中華技術電子書平台

本刊文章為作者提供，
內容正確性及法律責任
概由作者自行負責

匠心獨運

- 004 從交通節點到城市核心
臺灣樞紐建設的永續與創新轉型

人物專訪

- 008 承先啟後，開展工程顧問業的新視野與新藍圖
專訪台灣世曦廖學瑞總經理

工程論著

- 016 淺析高鐵站區開發案人行立體連通規劃處理
026 高架車站通風降溫與節能設計策略探討

發行人 蔡宗倫
發行所 財團法人中華顧問工程司
地址 台北市辛亥路二段 185 號 28 樓
電話 (02)8732-5567
網址 <http://www.ceci.org.tw>
ISSN 1818-4464

編審工作小組
總召集人 鄭運鵬
副總召集人 廖學瑞

148 期召集人 黃炳勳
148 期審查委員 江秉修、歐文爵、倪睿謙、
黃金田、張正育
總編輯 江秉修
副總編輯 陳傳興
企劃 台灣世曦工程顧問股份有限公司
設計編輯 天下雜誌股份有限公司
地址 台北市內湖區陽光街 323 號
電話 (02)8797-3567
網址 <http://www.ceci.com.tw>



封面故事

在交通建設推動城市發展的今日，樞紐不僅是運輸節點，更是串聯經濟、生活與永續願景的關鍵。本期以「嶄新樞紐—新契機」為題，聚焦臺灣從機場、港口、高鐵站到捷運系統的創新轉型，探討如何以智慧技術、人本設計與公私協力，打造兼具韌性與永續的新世代交通樞紐，開啟城市發展與工程創新的全新契機。

專題報導

- 046 三鶯線捷運節能減碳規劃設計
 - 060 臺灣飛機維修公司新二機棚設計經驗分享
 - 078 郵輪旅運服務設施設計—以澎湖馬公及龍門尖山為例
 - 092 T3 機坪設施工程嶄露鋒芒
 - 124 打造陸空轉運核心及生活樞紐—桃地中壢站整體規劃
 - 150 臺鐵車輛檢修新篇章—潮州機廠的規劃、建設與前瞻應用
 - 172 液化地層隧道環片外灌漿配置之抗浮效益分析
 - 196 兆元投資公共建設新契機
 - 210 探討捷運設施委託投資人興建機制
-

從交通節點到城市核心

臺灣樞紐建設的永續與創新轉型

無論是機場、港口、高鐵站、火車站，或是客運轉運站，這些日常可見的交通樞紐，不僅是物流、人流、車流的集散中心，更是連結地區經濟的重要基礎設施。換言之，交通樞紐建設不僅能提升運輸效率，也為其他產業的生產與消費提供服務支撐。

然而，極端氣候與 AI 數位轉型等挑戰，也同樣存在於交通樞紐建設中。幸而，近年來臺灣工程界已孕育出多項創新解方，逐步轉型出兼顧永續與效率的建設模式。

永續發展》跳脫框架，讓工程與環境共好

本期《中華技術期刊》專訪台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理廖學瑞，他從業生涯見證臺灣工程界的永續轉型。他自 1980 年代就參與臺灣第一個利用其他工程剩餘土進行填海造陸的工程——南星計畫之填海造陸混凝土中加入中鋼廢棄爐石及台電廢棄飛灰，使其成為工程材料，不僅解決事業廢棄物處理問題，更大幅降低整體工程成本，成為臺灣公共工程落實循環經濟的重要開端。

後來，為解決澎湖供電問題並落實低碳島目標，廖學瑞總經理率領團隊鋪設臺灣本島到澎湖間 58.8 公里特高壓海底電纜，克服海況複雜、海底深度達 133 公尺、臺澎兩岸地形差異等挑戰。完工後，不僅實現臺澎電力併聯，讓臺灣電力能輸送到澎湖，也使澎湖的風力發電能回輸至臺灣，增加綠電來源。

廖學瑞總經理認為，在極端氣候時代，工程設計必須跳脫傳統框架，融入全面性橫向思考，除了硬體結構技術外，還要考量生態環境保育、氣候變遷調適、社會文化融合等面向，例如在城市開發中，可設置兼具景觀遊憩價值的生態滯洪池，有效降低洪水等災害風險，增加城市的韌性。

同樣的永續解方，也體現在新北市捷運三鶯線工程。該工程自規劃初期便將永續發展納入核心，承諾在全生命週期內將環境衝擊降至最低，同時維護生態與促進資源再利用。從外觀的綠建築設計，以低碳材料打造高效節能、通風採光良好的站體，到內涵系統機電能源回收，全方位實現降低能耗與能源再利用，證明現代捷運不僅滿足大眾運輸需求，也能與環境生態共生共融。

甚至三鶯線的空調設置也針對高溫、高溼的新常態提出永續解方。工程借鏡工業廠房經驗，採用「直接蒸發冷卻（DEC）＋局部送風」的創新策略，使運行能耗僅有傳統空調的三至四成，運行費用更低至傳統方案的四分之一，足以有效降低體感溫度，又可避免以耗能方式對整個空間進行不必要的降溫，兼顧乘客舒適度與能源效率。

不只是捷運三鶯線，桃園機場華航維修廠區的「新二機棚」同樣在創新中展現永續理念。面對美國聯邦航空總署、歐盟航空安全總署、波音、空巴的嚴格規範，以及空間與高度限制、多機型維修需求與高作業效率要求，新二機棚仍導入大跨度無柱鋼構、全方位後勤支援庇屋區等創新設計；同時採用節能設計，引進自然採光與通風，並設置雨水回收系統、節水器具與污水分流設施，全面實現綠色營運。

彈性空間》因應不同需求，效益極大化

除了永續理念，面對人口、氣候與環境等難以預測的挑戰，彈性空間運用也是臺灣樞紐建設的一大特色。例如，馬公旅運中心部分海關、移民、檢疫及安全查驗空間，採可轉換隔間設計，在非航運高峰期，可靈活轉為展覽、會議或市集用途，維持建築全年活化。龍門尖山旅運中心亦同理，在非航運時段可變成集會、藝文展演或臨時災害避難所，提高設施使用效益。

在桃園機場，面對空間有限及未來機型多樣化發展，第三航廈「機坪、滑行道、機坪設施工程」首創國內彈性停機位設計，單一機位可停放 1 架 E / F 類航機（如 A380、B747）或同時停放兩架中型 C 類航機（如 A321、B737）。透過對未來航班、機型與客運量的全面預測分析，這項設計確保機場能靈活應對不同時段的航班需求。



《人本交通》貫穿行人步行動線，串商機與機能

另外，在行人權益愈來愈受到重視的現在，無論中央或地方政府，都極力打造「人本交通」環境。以高鐵站為例，要讓軌道經濟效益最大化，光靠交通站體本身仍不夠，還需打造友善、便捷的人行環境，才能活絡區域經濟，讓行人穿梭更無礙。興建過程中，開發商需負責人行立體連通系統的規劃、興建與後續維護管理，並協調土地使用、通過都市設計審議，方能建立無縫接軌的立體連通系統，緊密串連車站和周邊開發。

中壢車站的轉型過程即展現此特色：從傳統交通節點蛻變為南桃園陸空轉運核心與多功能生活中心。規劃設計階段即將捷運、轉運站與開發大樓整合共構，打造成集結商業、生活、文化與開放空間於一體的城市新地標；站內設置寬敞人行通道，並與周邊道路、騎樓、自行車道與綠帶串連，形成對行人、自行車與開車都友善的健康動線。

《智慧化》數據精確分析，提升樞紐效益

若要让樞紐邁向永續、人本與彈性運用的願景，智慧工具的運用愈來愈不可或缺。例如，位於屏東潮州，占地 51.67 公頃的現代化機廠，就導入「車輛維修資訊管理系統（MMIS）」，使檢修作業標準化，也能自動追蹤進度，及時掌握維修用料庫存，並進行車輛全生命週期管理與智慧行動檢修，在提升營運安全、效率的同時，也促進組織轉型，減少紙本作業與用料浪費。

在研究潛盾隧道在液化土壤中的上浮行為，評估不同形狀、配置、面積、強度的環片外灌漿對抗浮效益影響時，數位工具同樣能派上用場。透過 OpenSees 軟體進行數值分析，並搭配 GID 介面進行建模、後處理，發現影響隧道上浮的因素包括地震強度、垂直加速度、覆土厚度、地質條件，採用方形且位在腰拱以下的半斷面灌漿，才能達到最佳抗浮效益。

對此，台灣世曦工程顧問股份有限公司總經理廖學瑞表示，面對極端氣候帶來的影響，工程顧問業必須具備打造「韌性城市」的能力，而數位化是實現該目標的關鍵，必須積極採用 BIM（建築資訊模型）、GIS（地理資訊系統）等工具，並結合 AI 進行智慧決策，提升工程設計的效率與可靠性。

人才賦能在過程中也十分重要。廖學瑞認為，在傳統工程領域招募人才愈來愈困難下，企業應著重培養「T 型」與「π 型」人才，鼓勵工程師將資通訊、AI、財務與環保等不同領域的技術與思維整合到工程專案中，以應對更複雜挑戰。



公私協力》中央地方齊心，引進民間資金

公私協力は臺灣樞紐建設發展的另一重點。即便臺灣公共建設預算一直是推動國家發展基石，面對超高齡社會帶來的龐大公共服務需求、全球經濟劇烈波動，政府財政面臨挑戰，必須引導民間資金投入公共建設，行政院在 2024 年核定「兆元投資國家發展方案（114～117 年）」，希望引導 3～4 兆元投入國內公共建設與策略性產業。但若要使其發揮最大效益，仍須強化利害關係人參與、提升案源品質和吸引力、擴大地方政府角色、持續法規調適與金融創新。

目前不少縣市捷運周遭附屬設施，可看見地方政府引進民間資金的努力。例如，新北市土城樹林線就和信義開發股份有限公司簽約，將在三處引進近 61 億元民間資金興建住宅大樓，其中部分樓層將作為捷運設施使用。而高雄捷運黃線 Y15 站由鴻海精密工業股份有限公司取得最優申請人資格，正式簽約後將引進超過 150 億元民間投資，規劃企業營運總部、商辦與商場設施。若能確保契約完整性、建構嚴格監督機制、落實資訊透明，就能透過這種公私合作模式，打造具有效率、智慧的現代化城市。

面對氣候變遷與社會結構的雙重挑戰，臺灣交通樞紐建設已從單純的硬體工程，轉變為融合永續、彈性、人本與智慧化思維的綜合典範。這不僅是工程技術的躍進，更是公私部門與民間企業攜手，透過創新策略共同擘劃城市未來的新路徑。

承先啟後， 開展工程顧問業的新視野與新藍圖



專訪台灣世曦 廖學瑞總經理

台灣世曦工程顧問公司總經理廖學瑞，是臺灣港灣與海岸工程的標竿人物，近 40 年的工程人生涯，他獲獎無數，並長期參與國家重大工程，為臺灣港灣經濟與海洋綠能發展提供卓絕貢獻。廖學瑞兼具專業技術與管理能力，如今屆齡退休之際，更憂心於臺灣工程顧問業的未來發展，因而在退休前特別提出四大發展面向，值得深思與借鏡。

臺灣四面環海，以海洋立國，港灣與海岸工程便是帶領臺灣走向世界、邁進繁榮的關鍵基礎建設，這當中，曾在 2023 年獲得土木水利工程學會工程獎章的台灣世曦工程顧問公司總經理廖學瑞是個標竿人物，他不僅規劃設計出國內許多重大且影響深遠的海洋相關工程，更為臺灣港灣經濟、海洋綠能發展樹立多項里程碑。

進入工程顧問界近 40 年，廖學瑞回首過往很有感觸，談起工程顧問業的未來更有想法，他笑說：「堅持這份工作是為了創造更美好的明天，最大驕傲是可以告訴子孫——這些工程是我們公司設計的。」

從新摸索，開啟循環經濟之先河

工程顧問業的核心價值，在於同時扮演工程設計者、專案執行者與問題解決者的角色。而其最重要的使命，就是要串聯起一項工程「從零到有」的所有環節。因此，廖學瑞回顧過往，每一項任務都充滿了新知、衝撞、協調與突破。

畢業於成功大學水利及海洋工程研究所，1998 年廖學瑞進入中華顧問工程司港灣

工程部擔任水利工程師與計畫工程師。憑藉優異的工作表現，他一路晉升為部門協理。2007 年，擔任台灣世曦港灣工程部協理，參與多項重大工程，因表現備受肯定，2023 年更獲拔擢為台灣世曦總經理。

在外界眼中，廖學瑞的職涯發展似乎一路順遂，「但其實工程人這條路，我也是走得很艱辛，常常灰頭土臉，充滿汗水。」他回憶道，如同初出茅蘆不久，就接受到一場技術、經驗與規範全新建構的洗禮，「我當下是初生之犢不怕虎，心想去做就對了！」他帶著一貫親和的笑容，語氣卻鏗鏘有力。

1980 年代，高雄市政府推動一項面積超過 3,000 公頃的「南星計畫」，這是位於高雄大林蒲海岸的大規模填海造陸工程，最初的構想是在新造陸地上興建貨櫃碼頭或國際機場，除此之外，市政府也希望藉此解決大林蒲海岸線被破壞，及大量高雄捷運工程剩餘土無地處置之窘境。令人意外的是，如此重責大任竟落到當時還處於新人階段的廖學瑞肩上。

這項工程的最大的挑戰在於，這是臺灣第一個利用工程剩餘土及無害事業廢棄物進行填海造陸與改善海岸環境的工程，且造陸使用的混凝土中，還加入中鋼爐石與台電飛灰作為工程材料，這些新方法都沒人嘗試過，廖學瑞與團隊必須從頭摸索技術、規範，及作業與驗收標準。

在不斷突破框架的過程中，團隊不僅協助政府解決事業廢棄物處置問題，還因此降低了整體工程成本，「如今看來，那正是工程界投入循環經濟的起始點。」廖學瑞直言，當今全球企業大力推動落實永續目標之際，這個案例成為臺灣公共工程落實循環經濟的重要典範。



南星計畫工程是臺灣首創利用工程剩餘土與廢棄物填海造陸，為公共工程循環經濟典範

鋪設臺澎海底纜線，為發展綠電貢心力

新突破造就新典範，廖學瑞也是臺灣發展離岸風力發電的推手之一。除了海洋工程技術見長，其實一路從基層做起的廖學瑞亦相當具有市場眼光、任事膽識與管理能力。在擔任港灣工程部協理時，成功帶領團隊開發第二專長，由港灣業務推展至海洋綠能業務。

雖然廖學瑞坦言，曾因考量臺灣季節特性是冬季有風、夏季無風，偏偏臺灣是夏季比冬季更缺電，讓他對臺灣推動離岸風力發電存有疑慮。即使如此，一旦任務交到手上，使命必達的他仍會全力完成艱鉅工作。

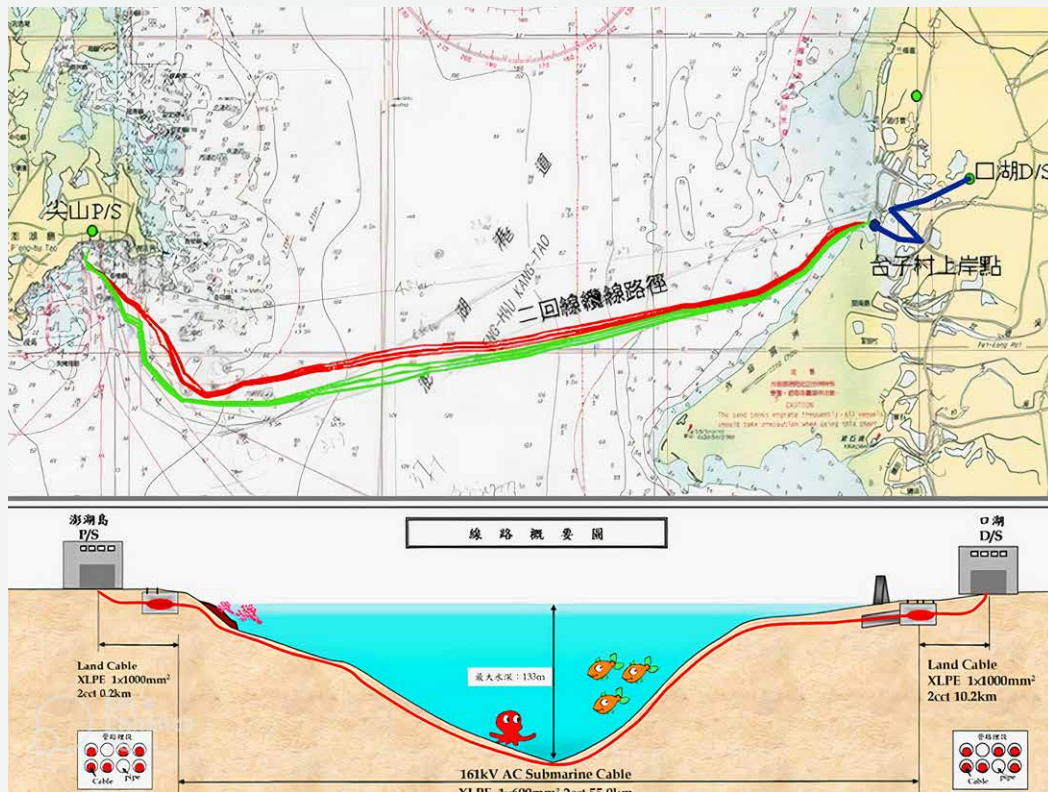
為實現澎湖綠能低碳島的目標，並解決澎湖供電問題，2021 年廖學瑞帶領團隊為鋪設臺澎海底電纜貢獻心力，鋪設長達 58.8 公里、第一條從臺灣本島到澎湖的 161kv 特高壓海底輸電電纜，促使臺澎之間首度電力併聯，也就是臺灣可輸電至澎湖，澎湖的風力發電也可經由這條海底電纜送回本島，增加臺灣綠電來源。

由於澎湖水道深度達 133 公尺，海況因素影響甚鉅，加上臺灣與澎湖一邊是沙岸，一邊是礁岩岸，因此這條海底電纜從鋪設到拉上岸，面臨了多重考驗，施工難度極高。然而，在團隊逐一克服難關，之後還造出臺灣第一座以國內機具完成的海氣象觀測塔，讓臺灣朝向綠電科技島的目標更往前邁進一大步。

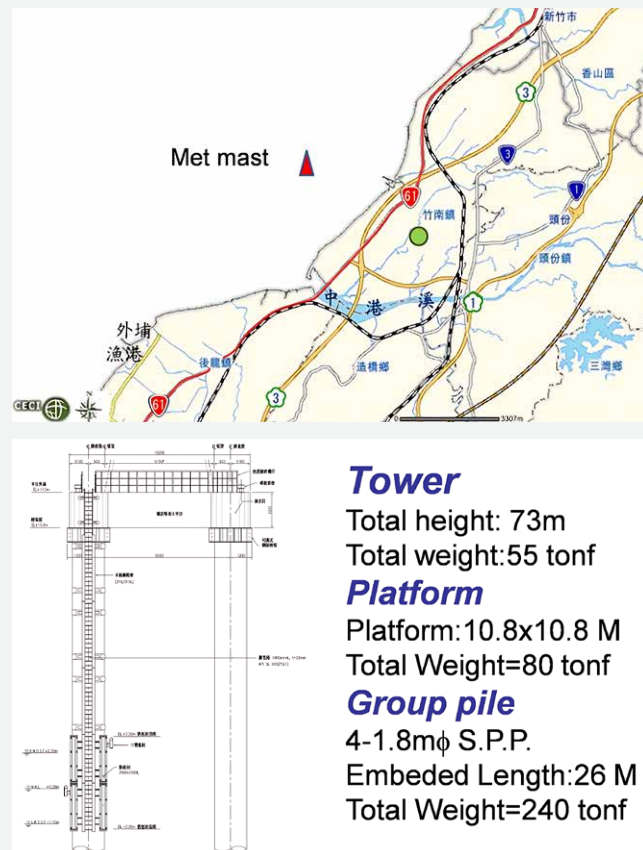
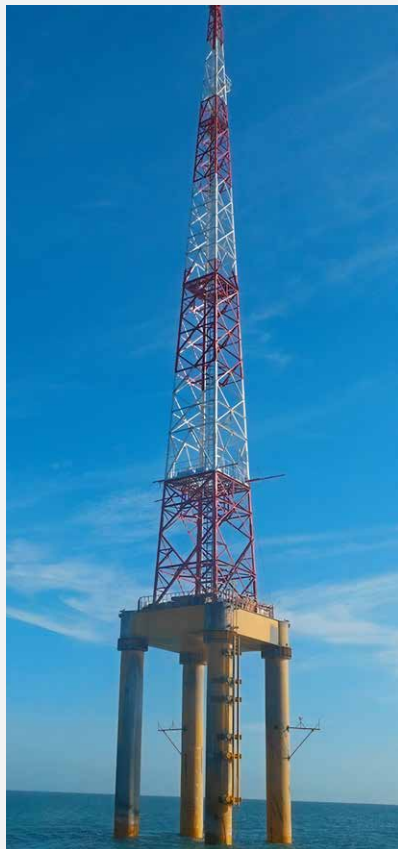
在執行任務的過程中，廖學瑞再一次體會工程人的宿命：即使事前準備充分、設計縝密，仍難避免要跟現場環境變化、在地居民質疑等不確定因素抗衡，才能真正走到「完工」那一步。

譬如在執行「南星計畫」時，曾遭遇在地養蝦業者抗爭，養殖戶認為建築堤防會妨礙他們抽取養殖場所需海水。同樣的，在進行海事工程時，亦常遭受當地業者抗議、索賠，認為施工造成他們捕撈與航行不便的損失，面對這一次次困境，廖學瑞直言：「心法無二，只能靠著不斷加強專業，與逐一耐心溝通來克服。」





克服深海極高難度，首條 161kV 特高壓電纜成功貫通臺澎，奠定臺灣綠能電網的堅實基石



首座由國內機具自主完成的海氣象觀測塔，成功建立離岸風電最精確的環境監測數據，加速臺灣能源轉型進程

臺灣最大、最深的港口都在他手上完成

近 40 年的工程生涯中，廖學瑞專精港灣、海岸及海底等工程，獲獎無數，包括土木水利工程學會工程獎章、中國工程師學會傑出工程師獎、海洋及水下技術協會技術獎章等，也曾獲聘中國土木水利工程學會會士、擔任成大土木工程學系副教授級兼任專家，並完成多項最「巨」任務。

譬如，曾參與臺灣最大工業專用港——雲林麥寮工業港建造，也協助陽明海運開發出臺灣最大水深的貨櫃碼頭，每年貨櫃作業處理量可達 280 萬 TEC（Twenty-foot Equivalent Unit，20 呎標準貨櫃），幫助高雄港成功邁向亞太中心轉運港口目標發展。

以麥寮工業港開發為例，這是臺灣近 30 年來最大型的港口開闢工程，其防波堤最大水深達 25 公尺，碼頭與航道最大水深達 24 公尺，且可容納 30 萬噸級油輪停靠，這不僅是臺灣最大工業專用港，也是最深港口，從設計到施工過程都極具挑戰，是臺灣港灣工程的重要里程碑。

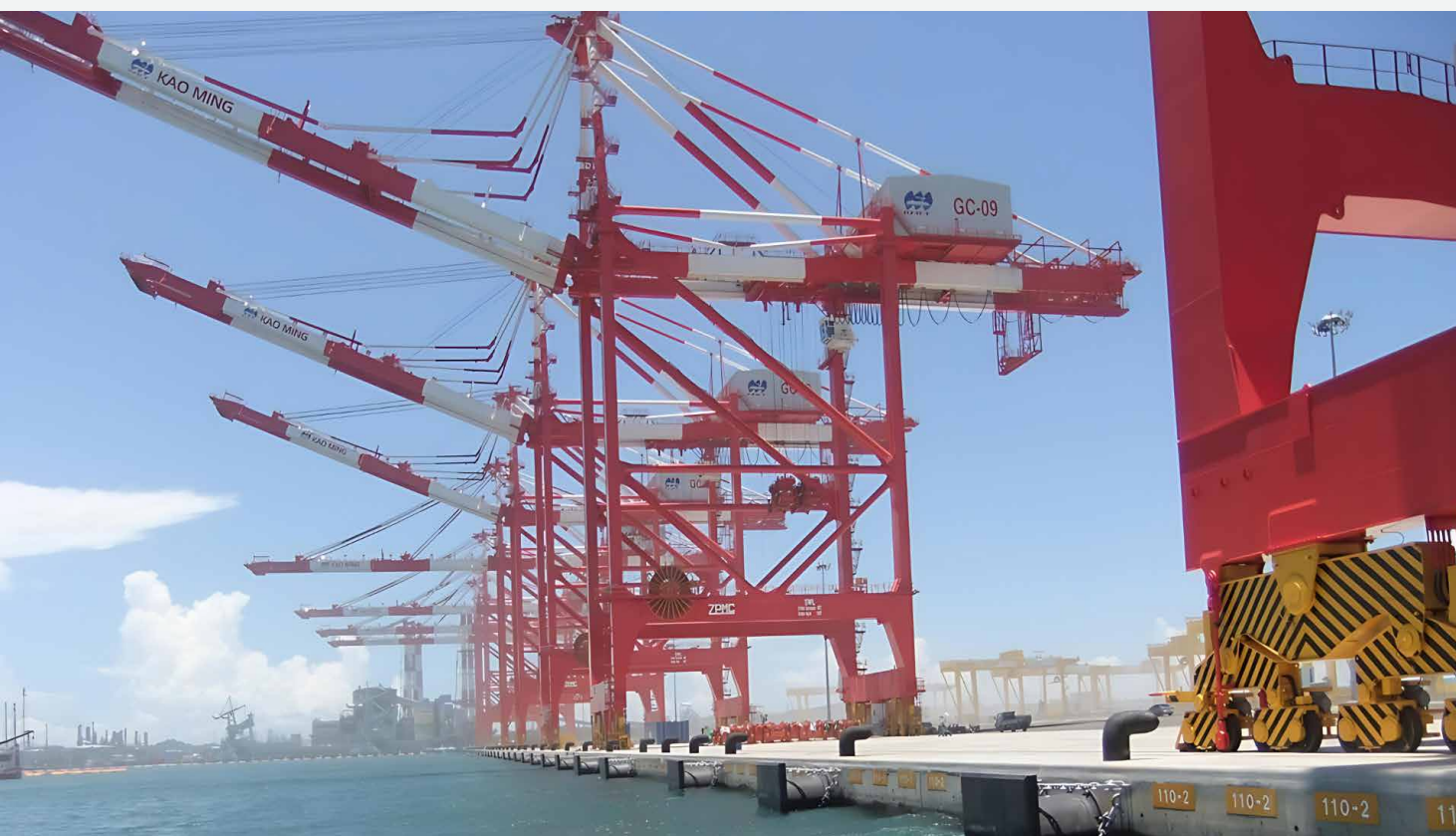
由於這是一項隸屬於民間企業的營造工程，由廖學瑞帶領團隊負責前端設計與後續顧問服務。為了加快商轉速度，業主台塑企業高度重視時間管理與施工效益，即使工程由台塑自行監造，廖學瑞與團隊仍須隨時待命，協助台塑解決施工過程遇到的疑難雜症，「壓力很大，但還是要面對。」廖學瑞談起這些過程直言辛苦，神情卻充滿著驕傲。

再往南到高雄，仍可見廖學瑞團隊的驕傲之作，以及打破現有框架、創造多項新工法的成就，均受到外界矚目。譬如現在民眾走訪高雄西子灣，除了被西子灣的美麗夕景深深吸引，也會對彎月形的自然沙灘留下深刻印象——這同樣是廖學瑞團隊完成的工程。

為幫助西子灣找回往日風采，受高雄市政府之託，廖學瑞團隊在高雄港北防波堤到中山大學圍堤之間的南北兩處，各建造一座長 160 公尺的人工岬頭，並在岬頭間進行人工養灘，最後成功為西子灣復育出長約 1 公里的彎月型沙灘，這也是臺灣第一次採用這種方法造出新沙灘，成果令人驚豔。



雲林麥寮工業港能容納 30 萬噸級油輪，是亞洲最深工業專用港，也是臺灣近 30 年最大型港灣工程的里程碑



憑藉臺灣水深之最與 280 萬 TEC 的年處理量，高雄港洲際貨櫃中心確立其作為亞太海運轉運樞紐的關鍵地位



廖學瑞團隊創人工岬灣配合養灘工法，成功復育出長約 1 公里的彎月型沙灘，讓西子灣美景風采再現

從 4 大面向展開革新之旅

過往艱辛歷歷在目，屆齡退休之際，廖學瑞笑說終於可以放下壓力，「以前常常颱風來時，就會睡不著覺，擔心很多狀況。」未來，渾身工程魂的他將投入寫書，「都是為了培育人才，希望能有所幫助。」

展望未來，廖學瑞認為工程顧問業不再只是鋼筋水泥的設計者，更將是駕馭數據的決策者、倡導永續的推動者，及跨界協作的領導者，因此，臺灣工程顧問業將面臨一場技術升級、思維創新的革新之旅，而廖學瑞帶著 40 年征戰沙場的經驗，正在承先啟後，帶領台灣世曦一步步朝此方向前進。

為了落實這場革新之旅，廖學瑞進一步整理出工程顧問業的 4 個發展面向，包括數位轉型、永續發展、跨域整合及國際化。

其中，數位化是當務之急，每家企業都應積極面對。尤其極端氣候變遷對營建工程的影響將愈來愈劇烈，有能力打造韌性城市、建設將是工程顧問業的未來核心價值，而數位化提供的大量數據資料是成就韌性的關鍵，舉凡 BIM（建築資訊模型）、GIS（地理資訊系統）都已成為工程設計不可或缺的利器。

「但演算可靠系統，最後決策還是要由人來判斷，」廖學瑞強調，未來智慧決策將成為工程的成敗關鍵，因此，台灣世曦愈來愈重視 T 型與 π 型人才的培育，期盼才能夠打破專業壁壘，將資通訊、AI、財務、環保等不同領域的技術與思維

整合到工程專案中，譬如一位具備土木與 AI 雙重背景的工程師，就可以在 BIM 模型中應用 AI 演算法進行設計優化，並精準預測施工風險。

由此可見，跨域整合已成為企業與人才必備的能力，況且廖學瑞認為韌性設計不只攸關硬體結構技術，更包括生態環境保育、氣候變遷因應、社會文化融合等全面性橫向思考，譬如在城市建設更新時，若多設置兼具景觀價值的生態滯洪池，就能有效降低洪水等災害。

對此，廖學瑞坦言，傳統工程領域招才已遇困境，受到社會氛圍影響下，臺灣年輕世代多選擇向高科技產業靠攏，使工程領域較難招募到又懂工程、又懂新科技運用的跨域人才，「即使難度很高，但我們還是要設法克服。」他直言，這是工程顧問業不得不面對的課題。

立足臺灣，放眼全球，廖學瑞指出，臺灣營建市場終將走向飽和，工程顧問業應積極走向世界舞台，努力將過去累積的寶貴經驗轉化為模組化知識與服務系統，快速應用於不同國家市場，「希望能藉此創造出具有獨特價值的臺灣工程品牌。」

走過 40 年，廖學瑞笑說：「這條工程人之路，唯有保有赤子之心才能走完，也才有辦法見樹見林，遇見更多不一樣的風景。」如同前言，秉持為了創造更美好的明天之信念，他一路走來辛苦，卻也走得甘之如飴。



台灣世曦總經理廖學瑞(右三)期許團隊承先啟後，推動臺灣工程顧問業朝向數位轉型、永續發展、跨域整合及國際化四大面向前進

淺析高鐵站區開發案 人行立體連通規劃處理

關鍵詞 Keywords

大眾運輸導向發展 Transit Oriented Development (TOD)

人行立體連通系統 Grade-Separated Pedestrian Connectivity System

交通部鐵道局
產管開發組土地開發科

科長
蕭子茗

本文以大眾運輸導向發展概念，針對交通部鐵道局辦理高鐵站區周邊土地開發案例，分享高鐵站區與周邊開發案件，在人行立體連通系統之連通策略、處理機制與連通模式，以合作方式推動，共創軌道經濟。

壹、前言

台灣高速鐵路自 2007 年通車至今逾 17 年，民眾搭乘高鐵抵達車站後，可透過臺鐵、捷運、公車、計程車、甚至單車等多元轉乘方式，進行商務、旅遊、探親等活動，已然形成「西部走廊一日生活圈」，進而成就「軌道經濟」。

「軌道經濟」係指以大眾運輸系統為城市發展主軸，並以交通場站及車站為核心，結合站點周邊與軌道沿線土地進行高效率、高價值的開發運用，納入商業、辦公、旅館、娛樂、休憩、長照與公共住宅等設施，提高土地開發與公共設施配置效益。

因此，如何提供友善人行環境、建構人行立體連通系統，串連車站與周邊土地開發案件，善用交通場站優勢，共同合作發展共創軌道經濟，即為本文研



究課題。本研究將以高鐵站區周邊土地開發案例，分享高鐵場站與周邊開發案件連通模式。

貳、高鐵站區開發案人行立體連通策略與處理機制

一、「連通」，以 TOD 概念導引與土管規範為依歸

高鐵站區指依都市計畫法規劃「高鐵車站專用區」。在探討人行立體連通前，須先了解大眾運輸導向發展（Transit Oriented Development，簡稱 TOD）概念。

TOD 起源於美國，由於公路建設助長私人運具普及，造成郊區化與都市擴張，進而導致嚴重的交通問題。1980 年代有學者提出 TOD 概念，強調都市發展應著重於大眾運輸使用，讓都市發展型態、土地使用模式與大眾運輸相互整合，營造以人為本的適居環境。

聯合國交通及發展政策研究所（Institute of Transportation and Development Policy, ITDP）在《TOD 標準》（TOD Standard）一書中，歸納出「步行 Walk」、「混合 Mix」、「自行車 Cycle」、「密集 Dense」、「連接 Connect」、「緊湊 Compact」等七個原則。

Compact」、「公共交通 Transit」及「轉變 Shift」等八大指標，作為國際衡量及判定 TOD 發展的重要依據（圖 1）。

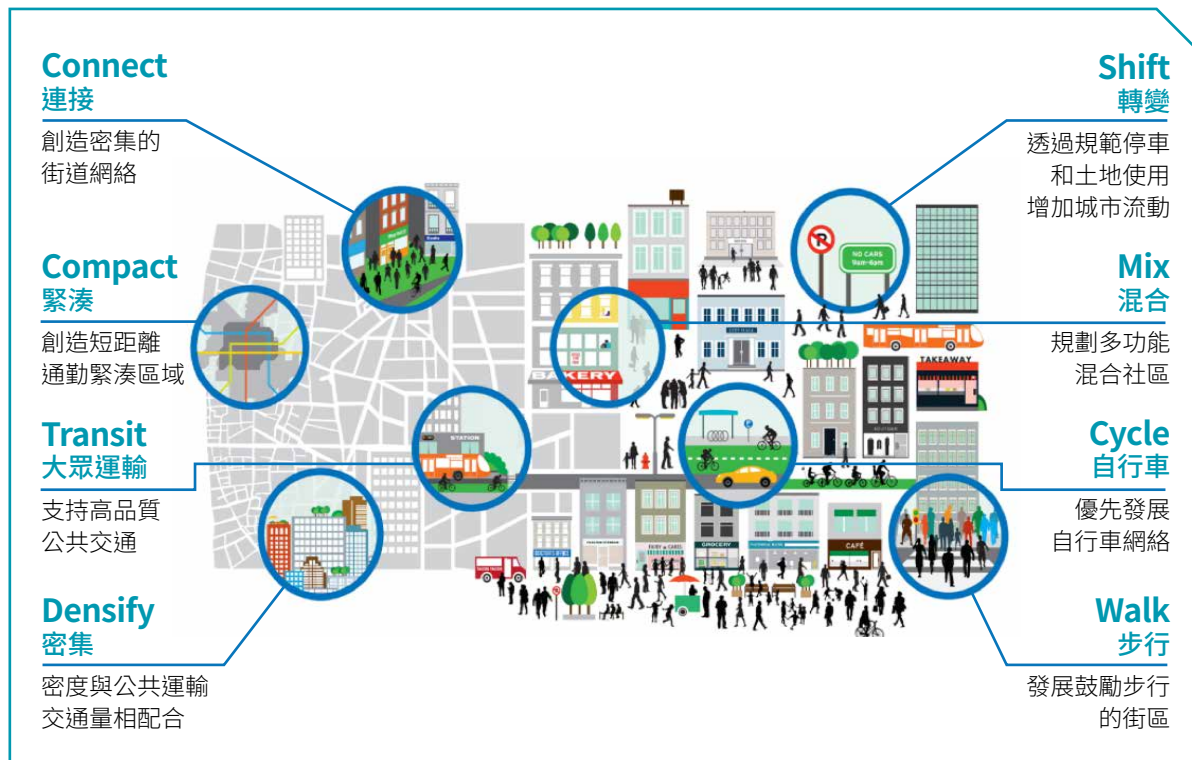


圖 1 TOD 大眾運輸導向的都市發展規劃示意圖
資料來源：聯合國 ITDP TOD 評估標準 3.0 版

回溯政府推動高鐵計畫之初，政策並非僅聚焦於高鐵本身的建設，同時透過區段徵收方式取得土地，推動高鐵特定區整體土地規劃，帶動新市鎮發展。同時，政府也著手改善車站聯外道路，整合交通系統，以吸引人口與產業進駐，促進車站周邊土地的合理利用。

因此，高鐵車站特定區都市計畫導入 TOD 理念，為了整合站區內的交通設施與建築物，加速開發效率，特別訂定了「高鐵車站專用區土地使用管制暨都市設計管制事

項」專章，由高鐵主管機關依專章內容進行審議，並創造站區獨特的都市意象。

該專章明確規定：「站區範圍內人行動線規劃應與鐵路車站、轉運站、停車場、站區廣場以及附屬事業設施等站區主要建築與設施物順暢銜接，並應構成連續之人行動線系統。」這也成為辦理高鐵車站及周邊開發案，建構「人行立體連通」規劃的重要依據。

二、開發案契約對於人行立體連通之處理機制

為實現高鐵站區 TOD 發展並營造友善人行環境，確保開發案件能具體達成與高鐵車站「人行立體連通」的目標，於招商階段

即與相關土地管理機關討論協商後，並透過契約約定與都市設計審議機制予以落實。

目前已簽約開發案件與高鐵車站連通的處理情形，整理如表 1。

表 1 開發案件與高鐵車站連通處理情形

契約約定方式	高鐵站	開發案	都市設計審議核定重點
(開發案契約約定) 由開發人負責人行立體連通系統之規劃興建與維護管理	桃園站	產業專用區 事業發展用地	同意並優化開發人規劃設計之人行立體連通系統
	新竹站	車站專用區 (二)	
	臺中站	事業發展用地	
	左營站	事業發展專用區 附屬事業大樓	
由開發人自行設計空橋連通車站	新竹站	事業發展用地	開發人承諾第 2 階段出資興建三鐵共構大平台 (高鐵、臺鐵與新竹輕軌)
未約定	臺南站	事業發展用地	開發人預留人行空橋銜接位置，並承諾負擔基地範圍內建築成本

資料來源：本研究整理

在規劃、興建與維護管理方面，不論是契約要求開發人辦理，或由開發人自行設計規劃，均以開發人負責人行立體連通系統為原則。惟對於契約未約定要求開發人興建情形時，則因應地方發展需求，由主辦機關報經上級機關核准補助工程經費，再由地方政府規劃、興建與維護管理，作為例外處理方式。

在土地使用方面，高鐵車站專用區屬高鐵車站用地，已由交通部與台灣高鐵公司簽

訂「台灣南北高速鐵路興建營運合約」，並以設定地上權方式交付台灣高鐵公司使用。因此，涉及高鐵用地的部分，依高鐵興建營運合約相關約定辦理，由台灣高鐵公司同意提供土地使用，交通部（鐵道局）就提供使用的土地減收租金。至於土地涉及其他政府部門權管部分，則由鐵道局協請相關機關同意無償提供使用。

參、開發案與高鐵站區之人行立體連通系統規劃設計

一、已興闢完成人行立體連通系統之開發案

(一) 桃園站區

「高鐵桃園站產業專用區開發經營案」基地面積約 21.9 公頃，位於高鐵桃園站及機場捷運 A18 站北側，國泰人壽保險股份有限公司於 2012 年 12 月 18 日與鐵道局簽約，以設定地上權方式，取得 50 年開發經

營權。按照申請須知約定，民間機構應參酌本基地與機場捷運 A18 站高架及地下層連通道相關圖面，規劃設置高架連通空橋及地下層連通道並負擔興建費用。國泰人壽公司業配合規劃，於機場捷運 A18 站月台出口設置人行空橋，連結至華泰名品城 2 樓，使捷運乘客可自月台直接到達名品城（如圖 2）。至於地下連通高鐵桃園站部分，因受計畫範圍高程、捷運墩柱及地下管線影響，未規劃建置。

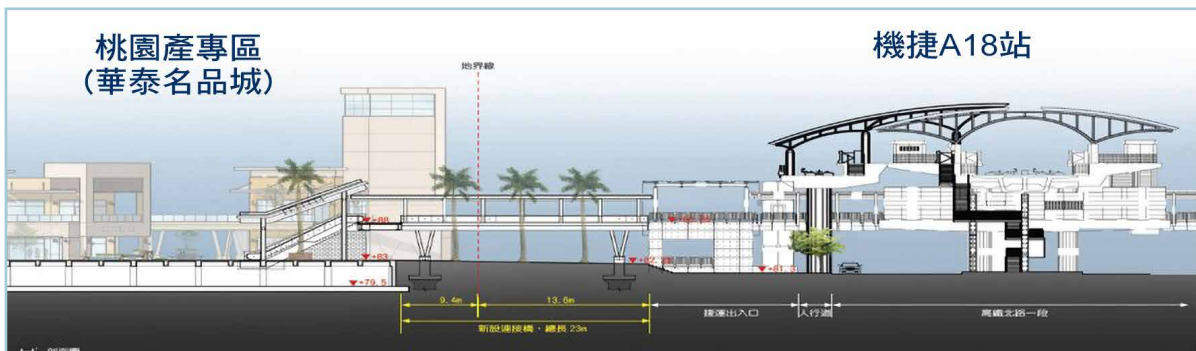


圖 2 桃園產專區設置人行空橋連接機場捷運 A18 站與華泰名品城 2 樓
資料來源：高鐵桃園站產業專用區開發經營案都市設計審議報告書 (2013)

(二) 左營站區

1、高鐵左營站事業發展專用區開發經營案

「高鐵左營站事業發展專用區開發經營案」基地面積約 1.1 公頃，位於高鐵左營站及附屬事業開發大樓東側。新光三越開發股份有限公司於 2005 年 10 月 18 日與鐵道局簽約，以土地租賃方式取得 50 年開發經營權。按照契約約定，民間機構應負責該案與高雄捷運 R16 站穿堂層連通，並預留與高速鐵路左營車站附屬事業開發大樓的連通接口。新光三越公司已配合於 3 樓興建人行空橋連通附屬事業開發大樓 3 樓（如圖 3）、B2 層連通捷運車站穿堂層。



圖 3 左營站事業發展專用區 3 樓設置人行空橋連接附屬事業開發大樓 3 樓
資料來源：鐵道局拍攝

2、高鐵左營站附屬事業開發大樓

高鐵左營站附屬事業開發大樓由鐵道局興建，於 2009 年 1 月 21 日取得使用執照，基地面積約 0.8 公頃，建物面積約 3.2 萬平方公尺，位於高鐵左營站車站專用區東北側、緊鄰高鐵左營站，正下方為高雄捷運 R16 站，新光三越百貨股份有限公司於 2009 年 10 月 15 日與鐵道局簽約，復依契約約定續約至 2024 年 12 月 11 日期滿。經

鐵道局於 2024 年 8 月 16 日重新公告招商後，再由新光三越公司得標，雙方於 2024 年 11 月 26 日簽訂契約，以租賃方式取得 20 年開發經營權。契約約定得標人應負責地上、地面或地下的人行動線規劃與高雄捷運、高鐵車站、臺鐵車站、事業發展專用區建築物等其他建築和設施物維持順暢銜接，就現有通道及穿堂等需保持暢通，不得逕自做為營業空間或封閉通道。新光三越公司已配合於前開人行動線維持暢通。



圖 4 左營站附屬事業開發大樓 3 樓連接高鐵左營站 2 樓
資料來源：鐵道局拍攝

二、規劃完成經都市設計審議核定人行立體連通系統的開發案

(一) 桃園站區

「高鐵桃園站事業發展用地開發經營案」基地面積約 10.7 公頃，位於高鐵桃園站南側，國泰人壽保險股份有限公司於 2022 年 5 月 4 日與鐵道局簽約，以設定地上權方式，取得 70 年開發經營權。按照契約約定，

民間機構應設置供公眾使用之人行地下道，連通本基地至高鐵桃園站，並自行提出興建時程規劃及負責後續管理維護。國泰人壽公司已配合規劃設置地下人行通道連接高鐵桃園站，另經都市設計審議委員會決議，請高鐵公司配合完成高鐵車站區內非付費區設置，以達成捷運、高鐵及本案開發區地下完整連通之目標。

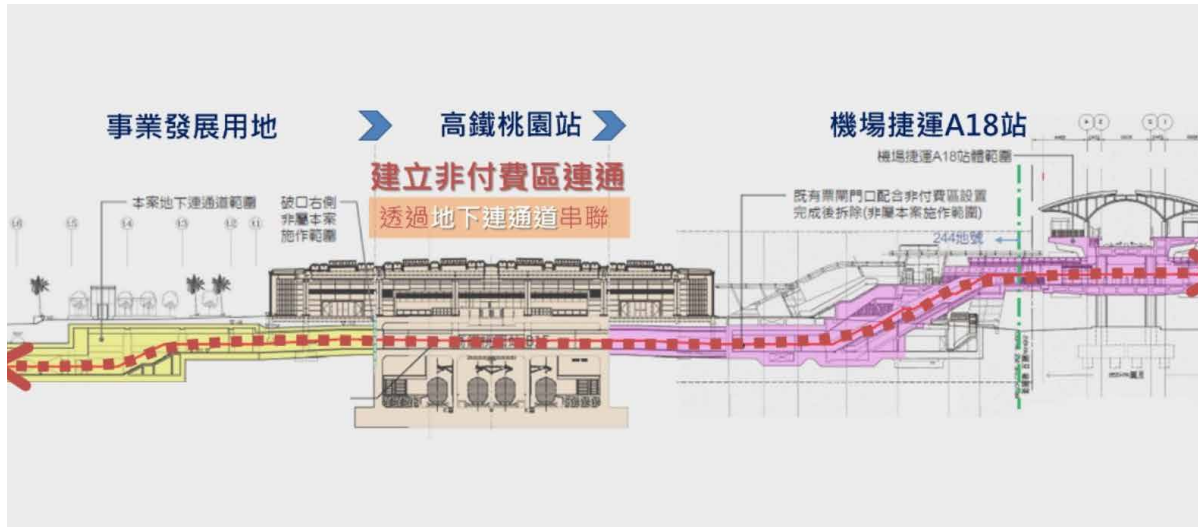


圖 5 桃園站事業發展用地人行地下連通道規劃示意圖

資料來源：高鐵桃園站事業發展用地開發經營案都市設計審議報告書 (2024)

(二) 新竹站區

1、高鐵新竹站車站專用區 (二) 開發經營案

「高鐵新竹站車站專用區 (二) 開發經營案」基地面積約 1.7 公頃，位於高鐵新竹站東側，旭源投資股份有限公司於 2022 年 6 月 14 日與鐵道局簽約，以設定地上權方

式，取得 70 年開發經營權。按照契約約定，民間機構應規劃設計、興建空橋，連通基地西側高鐵站區及東側新竹生物醫學園區留設的立體連通道銜接口，並負責後續的維護管理。旭源投資公司已配合規劃，設置人行通道連接高鐵新竹站及生醫園區。

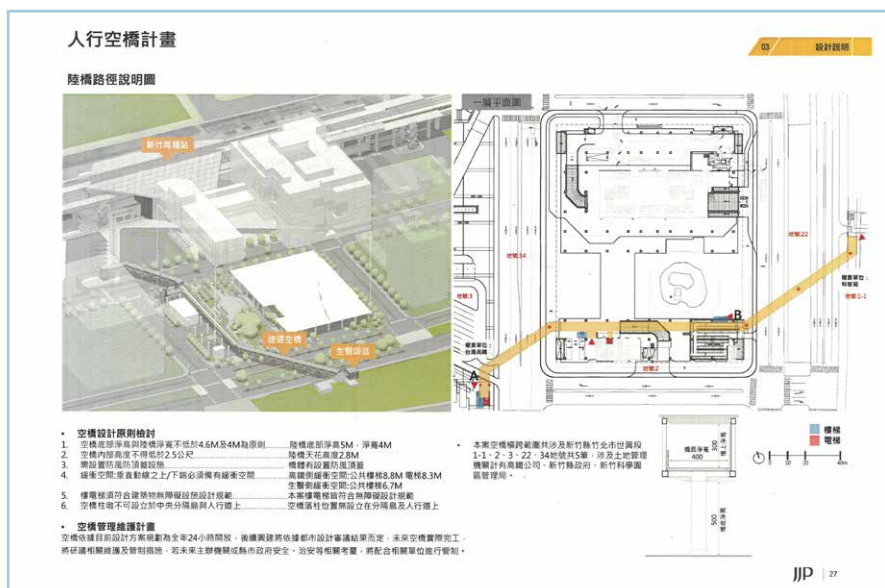


圖 6 新竹站車站專用區 (二) 基地人行立體空橋規劃示意圖

資料來源：高鐵新竹站車站專用區 (二) 開發經營案都市設計審議報告書 (2023)

2、高鐵新竹站事業發展用地開發經營案

「高鐵新竹站事業發展用地開發經營案」基地面積約 5 公頃，位於高鐵新竹站西側，宏匯竹高股份有限公司於 2023 年 1 月 17 日與鐵道局簽約，以設定地上權方式，取得 70 年開發經營權。按照契約約定，民間機構得自行規劃設計本基地與高鐵新竹站

連接之人行動線。在立體連通部分，需兼顧人行動線順暢與緩衝空間，可自行設計空橋，連通高鐵新竹站或臺鐵六家車站現有平台（空橋）。宏匯竹高公司分二階段開發本基地，並承諾出資興建第二階段規劃的三鐵共構大平台。



圖 7 新竹站事業發展用地基地人行立體空橋規劃示意圖

資料來源：高鐵新竹站事業發展用地開發經營案都市設計審議報告書 (2024)

(三) 臺中站區

「高鐵臺中站事業發展用地開發經營案」基地面積約 1.8 公頃，位於高鐵臺中站西側，第一大開發股份有限公司於 2021 年 11 月 15 日與鐵道局簽約，以設定地上權方式，取得 70 年開發經營權。按照契約約定，民間機構應於高鐵、臺鐵、捷運車站出入口及開發主要建築之間，規劃設計興建人工地盤或空中穿廊，確保人行動線順

暢銜接。設施亦需考量緊急狀況、災難或意外產生傷患時的救護車輛通行需求，並納入無障礙環境設計原則。本項設施面積至少 6,900 平方公尺，最小寬度為 10 公尺，且須於 5 年內完成。第一公司已配合規劃人行空橋與高鐵臺中站 4 號出口處（2 樓）、捷運站 2 樓穿堂側、商場、停車塔相互串連，使行人可順暢從高鐵及捷運站出口經由空橋到達開發基地。



圖 8 臺中站事業發展用地基地人行立體空橋規劃示意圖

資料來源：臺中市烏日區新高鐵段 69、70、71 等 3 筆地號辦公室、旅館、商場、會展中心新建工程案（第一次變更設計）都市設計審議報告書（2025）

（四）臺南站區

「高鐵臺南站事業發展用地開發經營案」基地面積約 5.9 公頃，位於高鐵臺南站東側，三南奧特萊斯股份有限公司於 2018 年 9 月 28 日與鐵道局簽約，以設定地上權方式取得 30 年開發經營權。按照申請須知約定，民間機構在開發經營招商範圍整體規劃時，需考量進出動線流暢之基本功能（應包含與高鐵、臺鐵車站之人行及車行動線規劃等），惟未約定要求民間機構規劃設計興建人行空橋連接基地與高鐵臺南站。本案依都市設計審議委員會審議結論，民間機構預留人行空橋銜接位置，並承諾負擔基地範圍內的建築成本。近期因應地方發展需求，鐵道局報經交通部同意補助工程經費，由臺南市政府規劃設計並興建人行空橋。

肆、結語

鐵道局在高鐵場站周邊土地辦理招商開發，不僅致力於引進民間資金與經驗，更積極引導產業進駐投資形成聚落。目前，高鐵車站周邊已完成十多件開發案。為建構人行立體連通系統，在上開各開發案件裡，部分已興闢實踐完成、多數仍待鐵道局、開發人與交通營運機構及各相關政府部門合作完成。相信在不間的溝通與協調過程中，終能消除交通營運機構困擾，成就開發案與車站間的人行立體連通系統，實現人本交通、高鐵站區 TOD 的發展目標。

參考文獻

1. 「臺灣『軌道經濟』百貨與商場產業地圖」，未來流通研究所 / 商業情報資訊站 / 圖解情報庫（2023.8.22）。

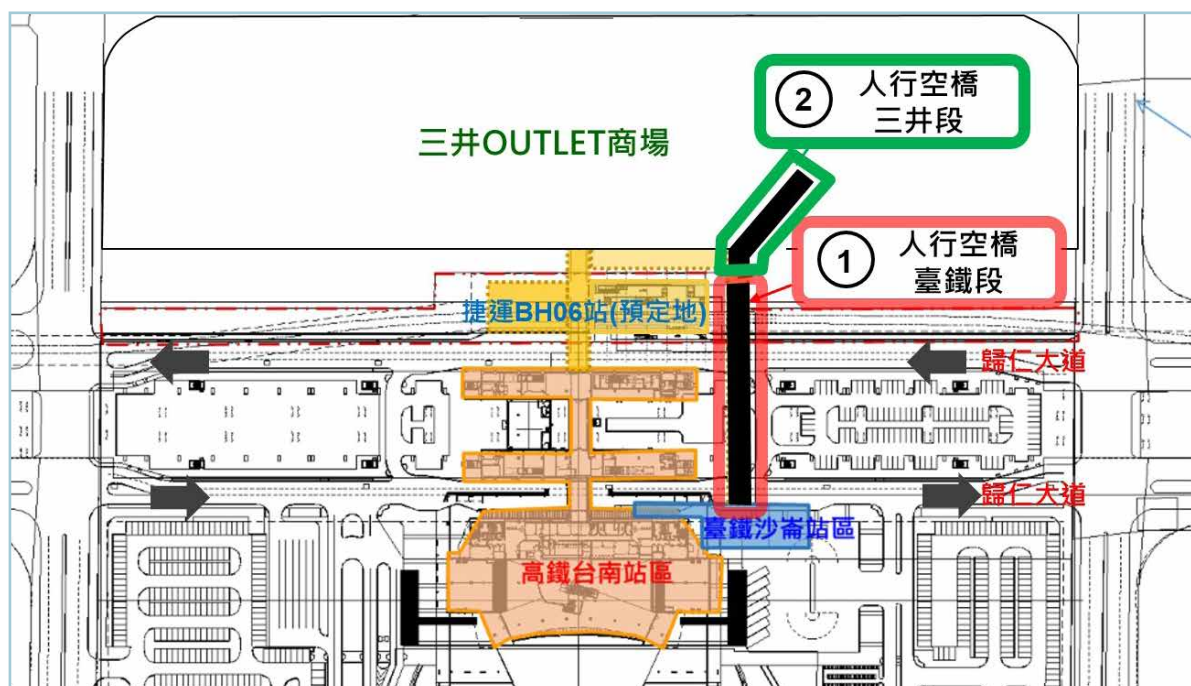


圖 9 臺南站事業發展用地基地人行立體空橋規劃示意圖
資料來源：臺南市政府提供資料 (2024)

2. urbanoter, 「大眾運輸導向發展 (Transit-Oriented Development, TOD)」 (2024.2.4)。

3. TOD Standard, Institute of Transportation and Development Policy (2018)。

4. 國泰人壽保險股份有限公司及潘冀聯合建築師事務所, 「都市設計審議報告書高速鐵路桃園車站特定區產業專用區 - 華泰名品購物城開發案都市設計審議報告書」 (2013)。

5. 國泰人壽保險股份有限公司及潘冀聯合建築師事務所, 「高速鐵路桃園車站專用區整體計畫及一期開發計畫變更設計暨第二期事業發展用地開發經營案都市設計審議報告書」 (2024)。

6. 旭源投資股份有限公司及潘冀聯合建築師事務所, 「高速鐵路新竹車站特定區車站專用區 (二) 開發經營案都市設計審議報告書」 (2023)。

7. 宏匯竹高股份有限公司及三門聯合建築師事務所, 「高速鐵路新竹車站專用區整體計畫及一期開發計畫變更設計暨第二期事業發展用地開發經營案都市設計審議報告書」 (2024)。

8. 臺中市烏日區新高鐵段 69、70、71 等 3 筆地號辦公室、旅館、商場、會展中心新建工程案高鐵路車站專用區整體計畫 (第二次變更設計) 及第二期開發計畫 (第一次變更設計) 都市設計審議報告書 (2025)。

高架車站通風降溫與 節能設計策略探討

關鍵詞 Keywords

捷運 Metro
高架車站 Elevated station
蒸發冷卻 Evaporative cooling
熱舒適 Thermal Comfort
通風 Ventilation

新北市政府
捷運工程局

副總工程師
林逸羣

台灣世曦工程顧問股份有限公司
機械工程部

主任工程師、空調技師
李炫秉

捷運工程局

工程師
陳安迪

隨著全球暖化與城市熱島效應加劇，臺灣捷運之高架車站在夏季面臨嚴峻的熱舒適挑戰。傳統依賴自然通風、電風扇或循環扇的設計，已難以應對高溫高濕的極端氣候，而全面空調又不符節能與營運成本考量，本文以新北市建設之捷運三鶯線高架月台為例，探討以「直接蒸發冷卻（DEC）＋局部送風」作為替代降溫通風策略的可行性與效益，透過文獻分析、熱舒適模型（PMV）、案例模擬與技術比較，提出一套兼顧乘客短暫停留舒適感與節能效益的設計方案。

壹、前言

捷運高架車站基於通風、採光及自然排煙等綠建築概念，以及配合都市景觀相關因素考量，車站造型設計大都以輕、簡、通透為主要設計理念，隨著全球暖化趨勢加劇，夏季高溫已成常態，城市中高架捷運車站在炎熱高溫下，將面臨嚴峻的熱舒適挑戰。

臺灣近期夏季氣溫經常達 30°C 以上，許多地區高溫超過 35°C，極端酷熱天數不斷增加，而高架車站設計多為半開放式結構採用自然通風，在此環境中，站內溫度通常接近室外溫度，在這種高溫高濕環境



下，常導致候車乘客感到不適，並且存在中暑或暈倒的危險，自然通風不足以提供乘客舒適感，使用電扇或循環扇會吹出熱風，散熱效果有限，若全面裝設空調系統，則因半開放式結構而造成冷氣外洩，導致大量消耗能源，不符節能要求。

所以，高架車站夏季之降溫通風面臨悶熱或能耗過高的兩難。本文探討此問題，結合文獻和實例，提出降溫通風與節能的設計策略，探討包括自然通風的限制、直接蒸發冷卻系統和局部送風的原理和效益，以及各項技術的舒適效果和能耗比較，最後，對未來設計準則提出改進建議。

貳、文獻回顧：熱舒適需求與高架車站熱環境

一、熱舒適評估指標與氣候因素

根據 ISO 7730:2005 人體對熱環境的舒適感受可用 PMV (Predicted Mean Vote)，預測平均評價模型評估，該模型綜合考慮氣溫、相對溼度、平均輻射溫度、氣流速度、衣著量與新陳代謝率等六項因素，一般以 80% 人員滿意作為舒適標準，如圖 1。在夏季高溫高濕的條件下，人體散熱主要依賴汗液蒸發，適當的氣流可加速蒸發散熱及提升舒適度。然而，氣流降溫效益有

一定限度，相關研究顯示人體感覺舒適的風速範圍約為 0.8 至 1.2 m/s，當風速超過 1.5 m/s 時，可能引起煩躁和不適。

而且當風速超過 2 ~ 3 m/s 時，汗液蒸發已達人體可接受的最大速率，繼續提高風

速對增進散熱效果幫助不大。因此在通風設計中需考慮風速對舒適性的非線性影響，過度提高風速不但不能線性改善體感溫度，反而會增加無謂的能耗。

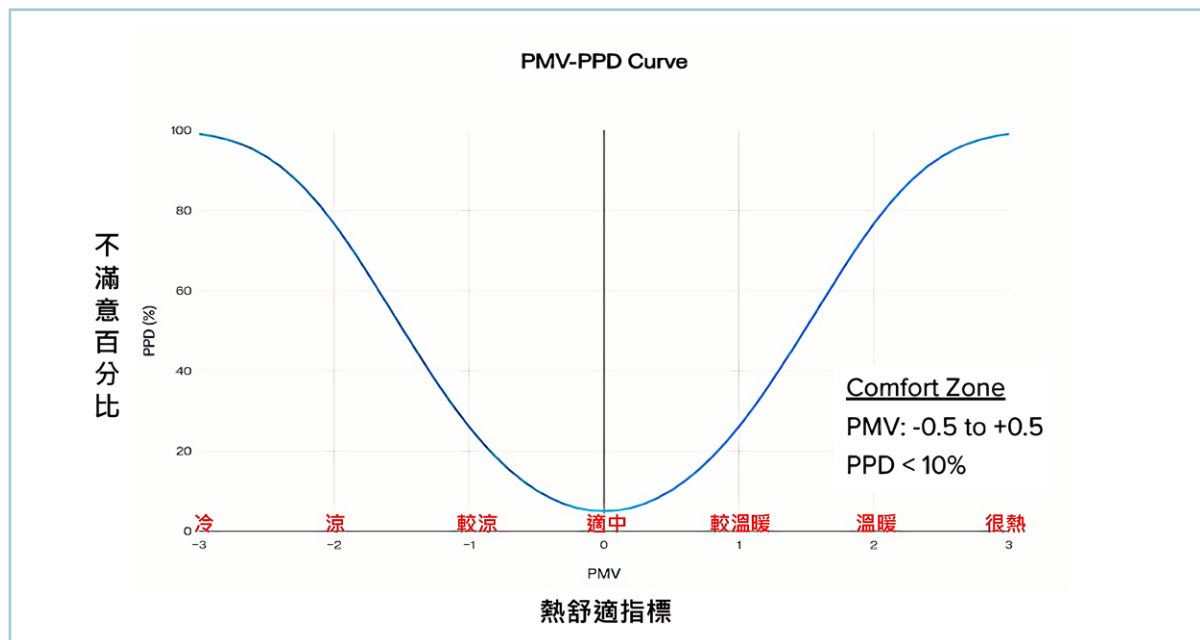


圖 1 PPD as Function of PMV

二、半開放式高架車站環境特性與舒適挑戰

半開放式高架車站的設計（例如立面局部封閉及遮陽頂蓋）在減少日照的同時也限制了空氣流動，特別是在無風的天氣下，空氣流通不足會影響降溫效果，使站內熱量難以排出，夏季太陽輻射和熱島效應將導致月台空間蓄積熱量，再加上乘客身體及車站設備等散熱，常使站內溫度或濕度顯著升高，造成候車乘客感受悶熱；根據研究人體對熱環境具有「行為適應能力」，在自然通風空間，乘客的舒適期望與接受度會隨戶外氣候自動調整（如脫衣服、找陰涼處等），依據 ASHRAE Standard 55-2020 的適應性熱舒適模式（Adaptive

Method）圖表，可透過「戶外平均溫度」推估可接受的室內操作溫度範圍，為避免過高風速導致的不適與健康風險，ASHRAE Standard 55 明確規定在高溫環境下，雖可適度提高風速以提升可接受溫度上限，但仍有最大操作溫度與風速的配對限制。這是為了確保大多數人在不同活動與衣著條件下都能維持熱舒適，而不會因氣流過強而產生不良反應，如圖 2。可以明顯地觀察到，當戶外 30 日平均達 33.5 °C（標準上限）時，80 % 可接受上限之室內 Top ≈ 31.3 °C，90 % 之可接受區會比 80 % 再低 1 °C 左右，若戶外 30 日平均超過 33.5 °C，適應性模型即不適用，須改採 PMV + 風速補償等方法。

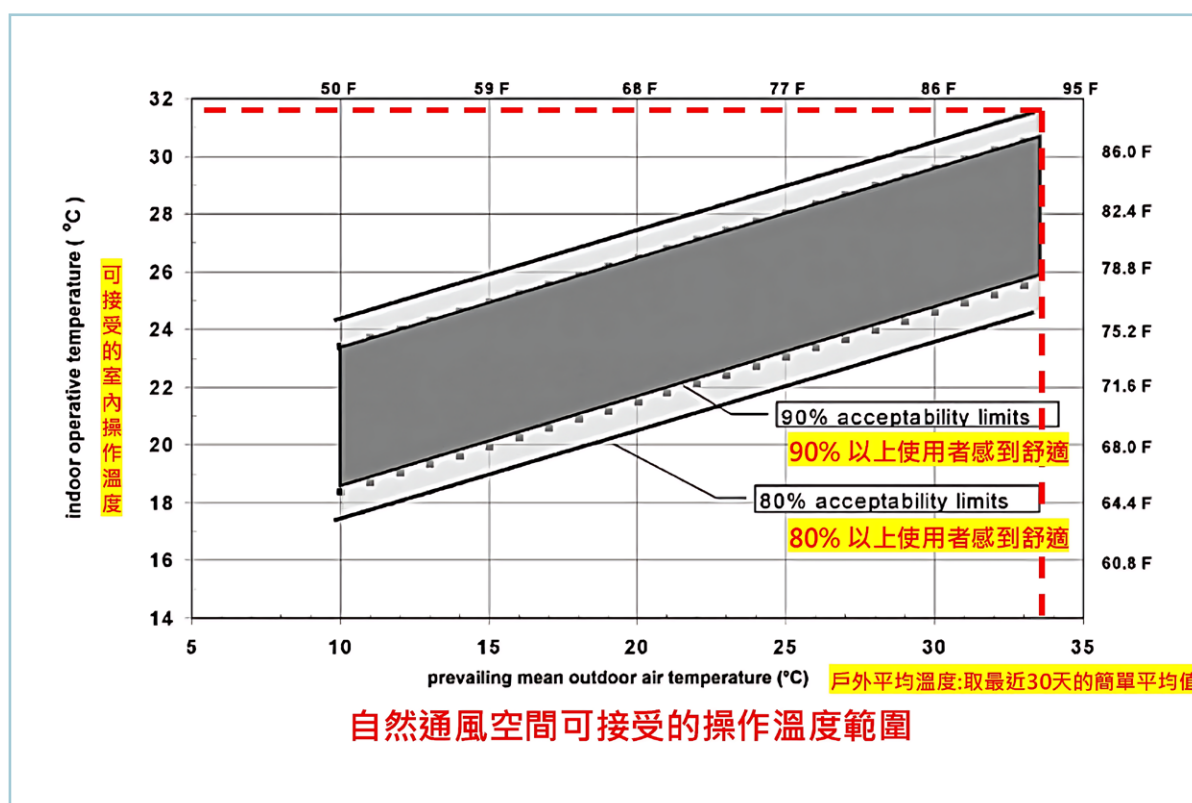


圖 2 自然通風空間可接受的操作溫度範圍

根據 ANSI/ASHRAE Standard 55-2020 「高風速舒適區方法」 (Elevated Air Speed Comfort Zone Method)，在擁有使用者可控風速 (Local Control) 且平均風速達 1.6 m/s 以上的條件下，可利用風速所帶來的等效降溫效果，將基準舒適區操作溫度上限提高最多 4°C。因此，若以在典型的夏季辦公室條件下，基準舒適區上限約 27.5 °C (0.2 m/s、1 met、0.5 clo、PMV = +0.5)，此上限值是在一系列標準化的夏季辦公室情境下，計算得出人體熱感覺剛好達到「微暖」(PMV = +0.5) 的臨界點，以此上限溫度為例，結合高風速可接受範圍，可將最高可接受操作溫度上限擴展至 31.5°C，這是利用風速提高所能達到的最高舒適操作溫度上限，如圖 3。

另由於人體的生理極限是一個更根本的物理限制，與人體和空氣之間的熱交換原理有關，人體的皮膚表面溫度通常維持在 34°C 至 35°C 左右，當空氣溫度低於皮膚溫度時，流動的空氣可以透過對流和蒸發帶走身體的熱量，讓人感到涼爽。然而，當空氣溫度高於皮膚溫度時，情況會完全相反。此時，流動的空氣不但無法降溫，反而會像熱風一樣，將熱量傳遞給人體，加速體溫升高，這會增加中暑的風險，因此，利用高風速來維持舒適的方法，在空氣溫度接近或超過皮膚溫度時就會完全失效。所以當環境控制選擇之啟用降溫策略的門檻為 27.5°C 時，藉由提高風速來提升可接受的操作溫度，其最大允許溫度不得超過 31.5°C，一旦操作溫度超過 31.5°C

(例如 32°C、33°C) 時，即使風速達 1.6m/s 以上，人體仍會覺得過熱。高架車站在夏季午後常面臨室外氣溫達到 30°C 以上的狀況，在這種情況下，月台如利用自然通風、

電扇或循環扇，而並無任何降溫措施，僅靠提高風速是無法維持舒適，乘客有可能感受到是灼熱的風，傳統的通風系統難以有效發揮作用。

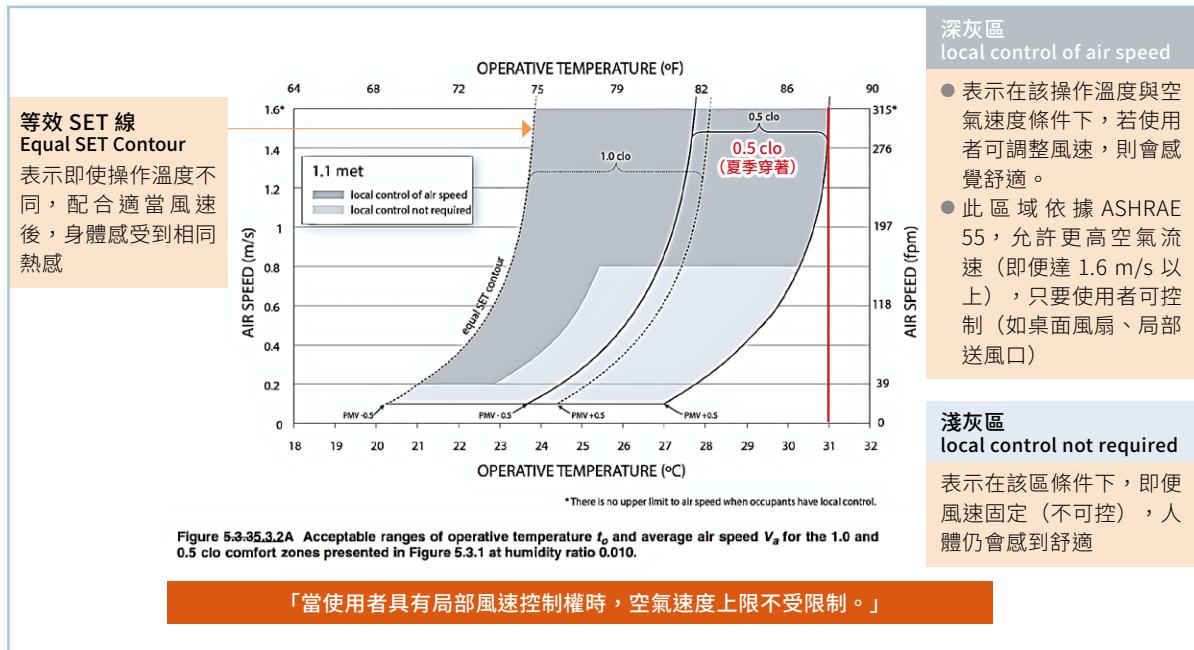


圖 3 操作溫度和平均風速可接受舒適區範圍

三、乘客停留時間與舒適期望

值得注意的是，乘客在高架車站的停留時間通常不長。從進站、購票、穿過大廳到月台候車上車，多數乘客在站內可能僅停留數分鐘到十餘分鐘，因此對於短暫經過的環境，人體對舒適的需求與長時間停留的空間有所不同，乘客通常期望一進入車站就能感受到室內明顯比戶外涼爽，以達到心理及生理的舒緩。由於乘客停留時間較短，因此，無需將環境調整至等同室內空調房間的舒適溫度，研究顯示，人體對溫度變化約 2°C 即可有明顯感受，只需讓乘客感受到幾度的降溫，即可顯著改善候車體驗，這意味著高架車站的降溫通風措施

目標，不需將月台降到 25°C 的冷房水準，只需比室外炎熱環境降低幾度，使乘客感受到明顯的涼意，即可達成「可接受舒適度」，此概念為後續節能策略提供了重要依據：「我們的目標是在乘客短暫停留期間逐步提升舒適度。」

參、傳統通風與空調方式的限制與能耗問題

高架車站通常利用自然通風來調節環境溫度及濕度，自然通風包括風壓通風（依靠室外自然風力）及熱壓通風（依靠空氣溫差產生的浮力氣流），理論上，只要車站結構開放且周遭風環境良好，戶外的風可

以導入室內並帶走熱氣，同時，熱空氣上升也有助於將熱排出，但是自然通風效果受限於氣候條件，尤其在目標地區夏季之常時風速低或風向不利的情況下，加上半開放式的結構設計，難以實現充分的空氣流通，因此，在炎熱天氣下單純依賴自然通風具有明顯的局限性。

傳統的機械通風和空調降溫方法，包括強制通風的電風扇、循環扇和製冷的空調系統，在高架月台上安裝電風扇或循環扇，可以有效提升空氣流速，並加速熱氣之移除。但如前述，當氣溫超過 30°C，透過提高風速來增加人體舒適度的效果非常有限，因此，不應盲目追求高風速，實際案例顯示，嘗試在候車區配置多台風扇改善通風，乘客仍然汗流浹背。這表明僅單靠提高風速措施是不足以解決問題，另一種方法是將高架車站部分區域進行空調化，例如直接對月台提供冷氣，但是對於半開放式高架車站，冷空氣很容易散逸到室外，導致冷房效率極低且能源消耗驚人，如圖 4。

綜上所述，傳統空調在半開放式高架車站中的應用效果有限，且運行成本高昂。在當前能源日益珍貴及節能減碳目標下，高架車站採用傳統壓縮式空調系統進行降溫的方法並不實際。因此，有必要探索兼顧舒適性與節能效果的替代方案，以有效改善高架車站在炎熱天氣環境下提高舒適度。

肆、通風降溫替代方案：蒸發冷卻與局部送風技術

為了突破傳統降溫通風方式的瓶頸，新北捷運建設借鑒了工業廠房在高溫下的室內溫度環境改善和節能措施，採用直接蒸發冷卻技術結合局部送風策略，作為高架車站通風降溫的替代方案，如圖 5。此技術核心在於保持車站開放通風，並引入低能耗的降溫設備，提供局部區域之涼爽空氣給予乘客。此方法能顯著改善候車區的熱環境，從而滿足乘客對「過渡性舒適」的需求。

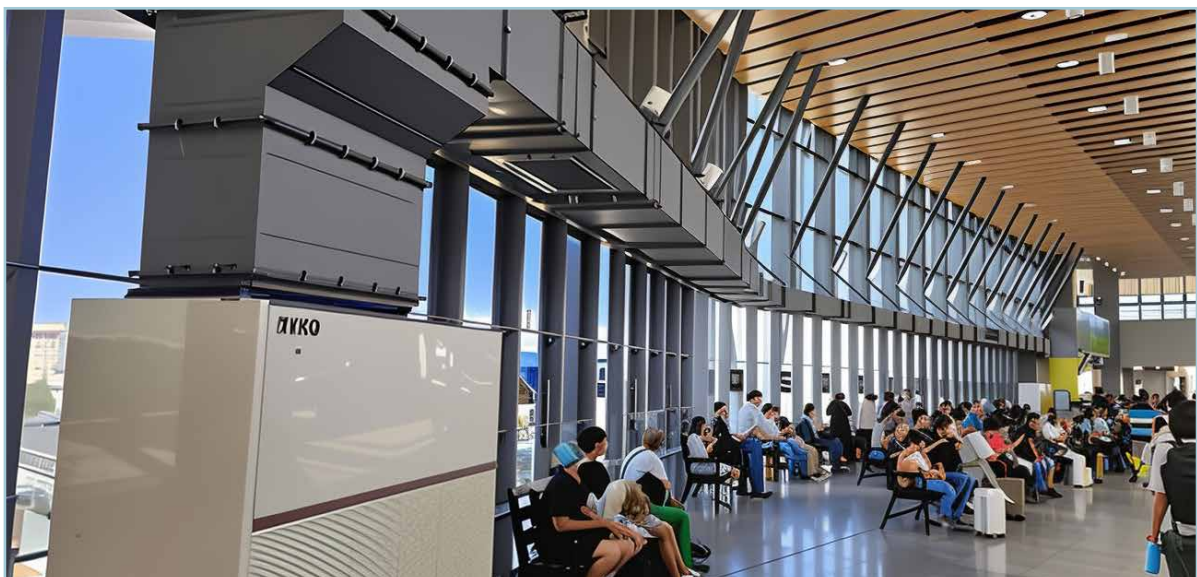


圖 4 高架車站部分區域進行空調化



圖 5 局部送風示意圖

一、直接蒸發冷卻原理與應用條件

直接蒸發冷卻是一種利用水的蒸發，吸收熱量來降低空氣溫度的冷卻技術。其基本原理是將高溫空氣引入覆蓋有水膜的介質（例如蜂巢狀水簾），當空氣與水接觸時，蒸發過程會吸收空氣中的熱量，使溫度下降並增加空氣濕度，從而生成涼爽且濕潤的空氣。由於此過程僅依賴水蒸發吸熱，不需要運轉壓縮機，只需消耗風機和水泵的少量電力，即可達到降溫效果，因此整個系統的能效比極高。

蒸發冷卻效果取決於環境之濕度和溫度，環境越熱、空氣越乾燥，降溫就越明顯。

理論上，蒸發冷卻後的空氣溫度可接近室外的濕球溫度，在乾燥的氣候條件下，降溫可達 10°C 以上，如圖 6。在臺灣夏季這種高溫高濕環境下，蒸發冷卻的降溫幅度會較低，但結合提高風速仍有助於改善體感溫度。例如在乾球溫度 35°C 及相對溼度 70% 左右時，空氣經蒸發冷卻處理後，溫度可降低 5°C 約至 30°C，再配合適當提高風速吹拂人體，即可產生明顯涼意，另蒸發冷卻又可與機械製冷系統結合，形成「預冷 + 蒸發」的複合式空調系統，此項雙段設計可提升降溫效能，可滿足於極端高溫的戶外環境下，仍可有效提供舒適性，如圖 7。

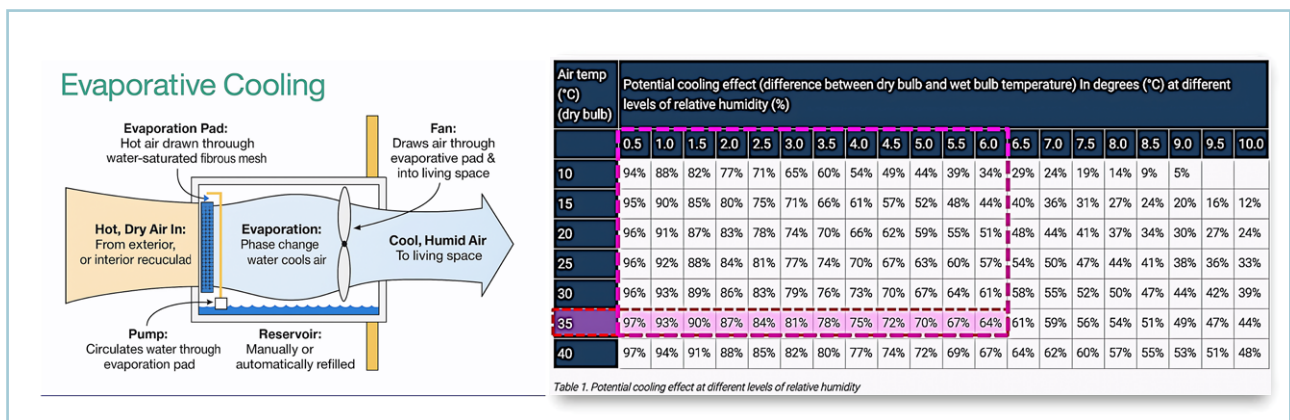


圖 6 蒸發冷卻設備示意圖

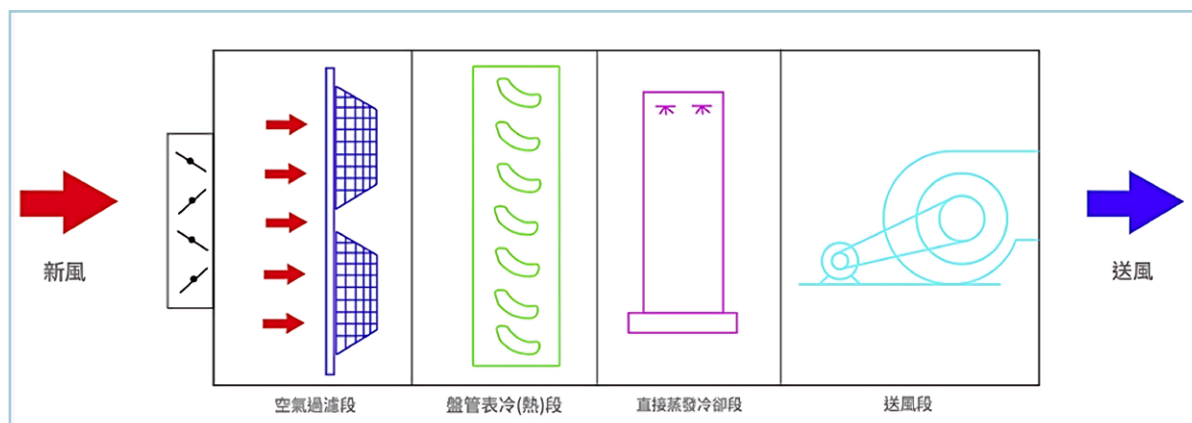


圖 7 直接蒸發冷卻複合式空調系統示意圖

二、投資與維運成本

直接蒸發冷卻系統的投資與維運成本也相對低廉。由於其結構簡單（主要是風機、水泵和蒸發介質），初期設備投資明顯低於中央空調系統，且不需要複雜的製冷機組。其運行能耗僅來自水泵和風機所需電力，約為傳統空調耗能的 30% ~ 40%。維護方面，每年只需定期清洗介質、檢查水質和水泵運轉情況等基本保養，維護工作量與成本較低，整體經濟效益明顯，國外案例實測顯示用於高架車站時，直接蒸發冷卻系統的運轉費用僅約為等效機械製冷方案的 1/4，這對於需要降溫而預算或電力有限的情境非常有吸引力。

三、適用條件與限制

在高架車站內，由於其兩端通向室外的通風特性以及列車行駛所產生活塞風與自然通風的作用，經過水簾降溫後的空氣會快速流動並排出月台，濕度不會在站內蓄積，由於自然通風持續進行，空氣交換率高不致造成濕度累積問題。雖出風濕度提升，但並不會導致體感悶熱，反而因蒸發效應搭配氣流速度提升，可有效降低乘客感受

之體溫，有效維持乘客的舒適度。總體而言，對於這類半開放式高架車站環境，非常適合應用直接蒸發冷卻技術，其降溫效果適中、運行穩定且節能效益顯著是傳統空調的有效替代方案之一。

由於高架車站範圍大、加上空間挑高，若要全面降溫則成本極高，蒸發冷卻本身雖節能，但若試圖降溫整個站體空間並不切實際。因此「局部通風」的設計策略應運而生，其目的是將有限的降溫資源集中作用於乘客所在區域最大化舒適收益，局部通風指針對特定區域提供定向的強化氣流，而非調節整個大空間的環境，透過安裝朝向乘客的噴流式風口或移動式冷風機來實現，直接對人員活動區域吹送涼爽的空氣，這種局部降溫通風方式具有多項優點。首先，相較於整體空調，局部通風設置簡單、調節靈活，所需設備（風扇、風口等）體積小且布置方便，可在月台樑、柱上佈設噴流式風口或布置可移動的冷風機於乘客聚集處，大幅減少不必要的能源支出，可用更少的風量和冷量達到乘客體感舒適，大幅提高能源使用效率，設計概念如圖 8。



圖 8 蒸發冷卻設計概念示意

此外，局部通風啟停控制方便，可根據客流和氣候條件靈活開關或調整風速。例如離峰時段關閉部分設施予以節能，炎熱擁擠時段全開以保障舒適。此項精細控制是傳統大型空調難以實現。值得一提局部通風講究送風定向性與可達性。風流需精準

覆蓋乘客所在高度和範圍。例如送風口宜定位在乘客上方處，利用噴流氣流覆蓋下方人員區域。同時風速控制在體感舒適範圍內（如前述約 1 ~ 3 m/s）避免乘客被過強氣流直吹感到不適，以三鶯線為例月台等候區之蒸發冷卻及局部通風設計示意，如圖 9。透過合理的風口設計（如加裝射流噴嘴以延長送風距離），可確保涼風能送達 8 ~ 12 公尺之外的候車人群，北京地鐵的研究就指出，在蒸發式冷風機出風口加裝射流噴口後，大幅擴大覆蓋範圍，同時兼顧氣流擴散效果來確保乘客活動區域的舒適度，如圖 10。

四、蒸發冷卻結合局部通風

綜合上述技術，形成一套適合高架車站的降溫通風設計概念，即「蒸發冷卻降溫+

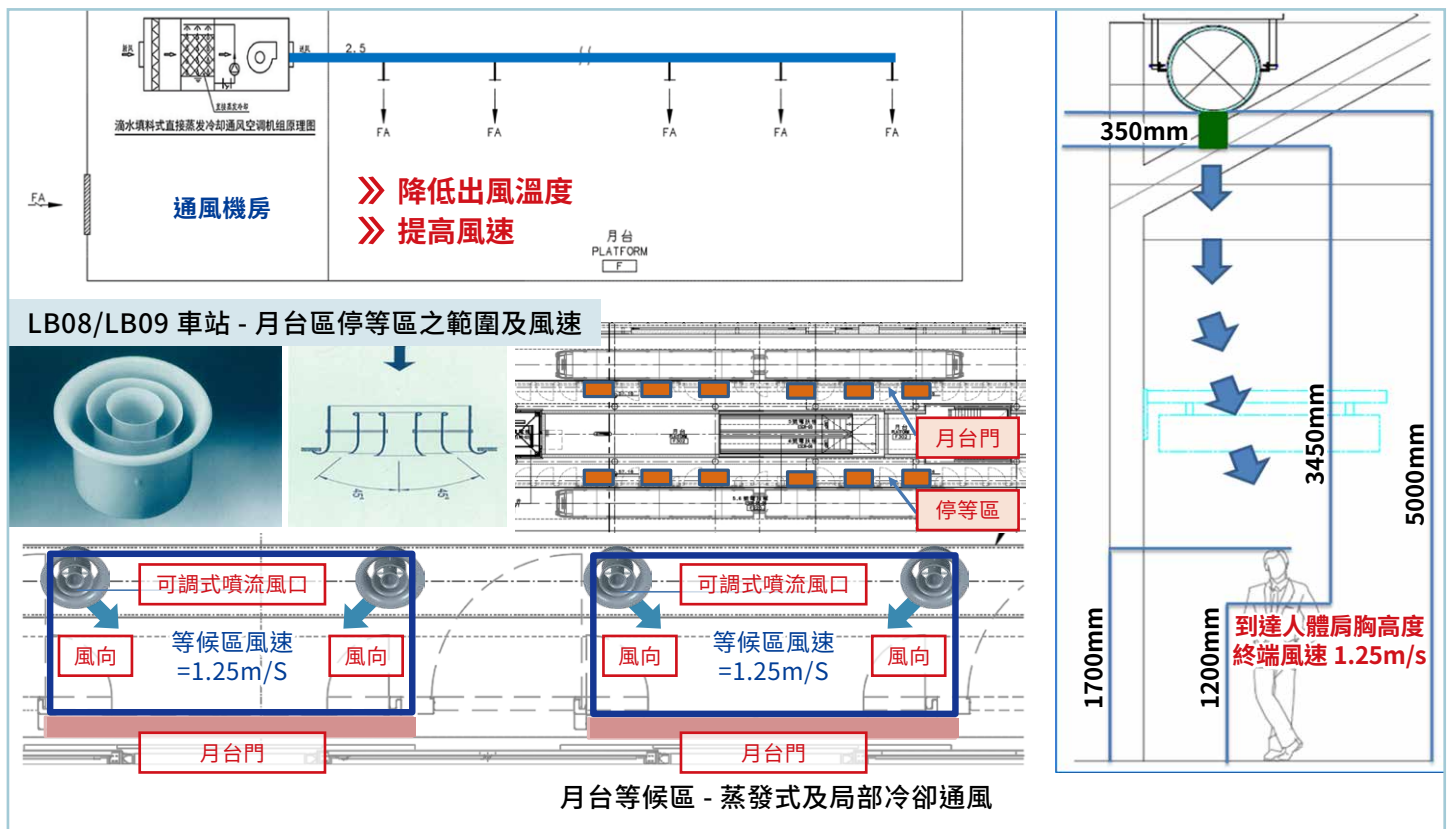


圖 9 月台等候區 - 蒸發冷卻及局部通風設計示意

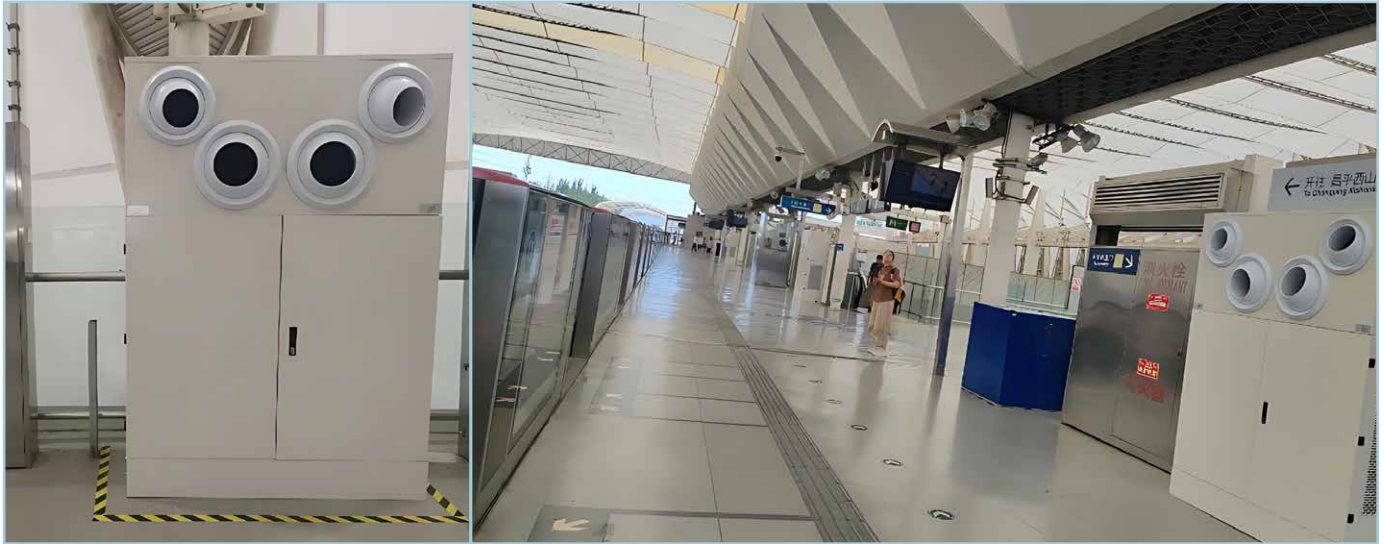


圖 10 蒸發冷卻設計概念示意

局部通風提速」的組合，其運作模式為：利用蒸發冷卻裝置將送風溫度降低，同時由風機將這些冷空氣定向送往候車區，提高該區域的氣流速度和換氣量，藉此，乘客既感受到明顯的風感，又接收到略微降

溫後的空氣，兩者疊加產生「體感溫度」的下降促使舒適度大幅提升。以三鶯捷運 LB07 站為例，經設計模擬將室外 32°C / 相對濕度 70% 的空氣，經蒸發冷卻後降至 30°C / 相對濕度 85%，再以到達風速 1.25

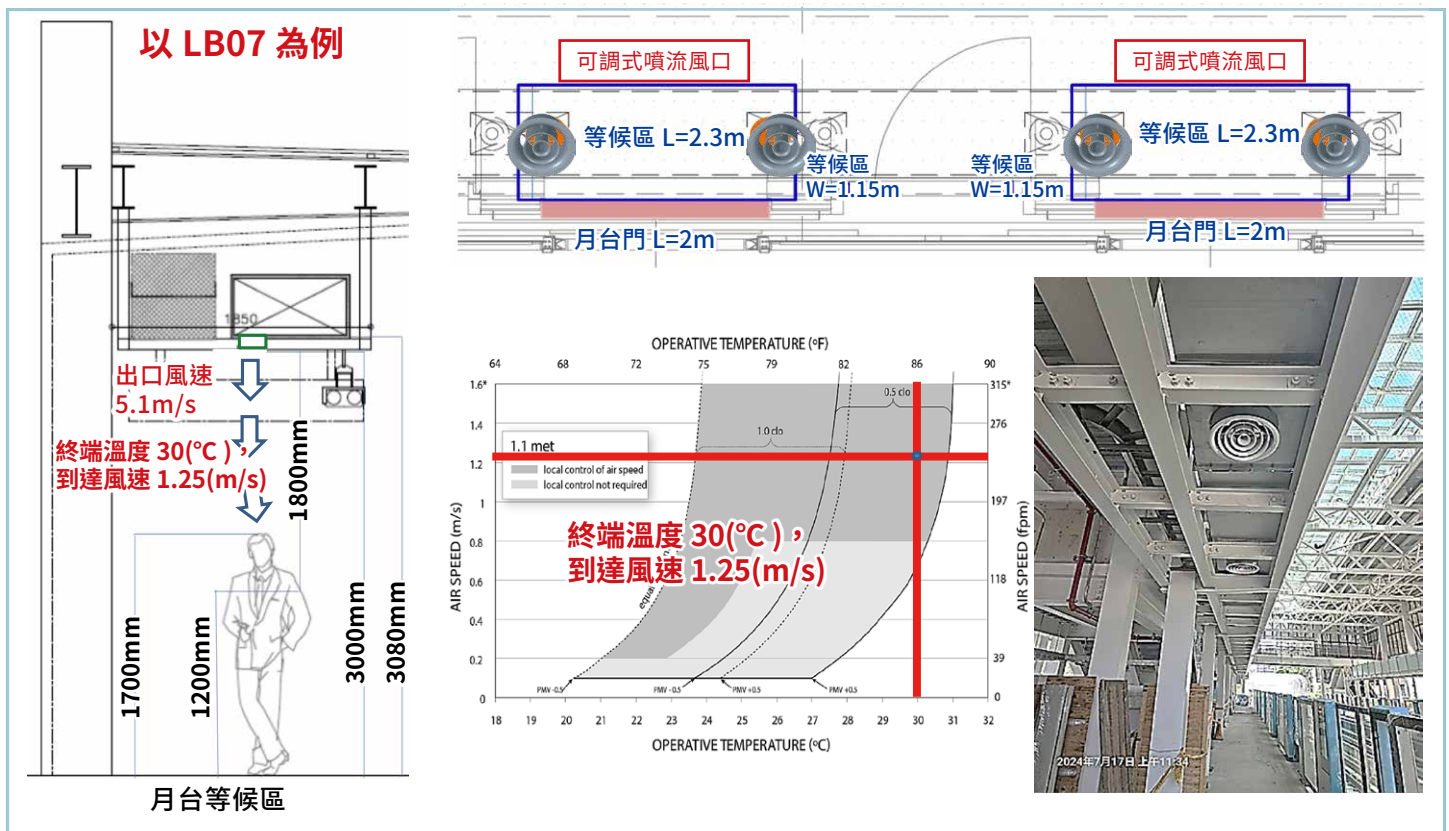


圖 11 LB07 站月台等候區 - 蒸發冷卻及局部通風設計示意

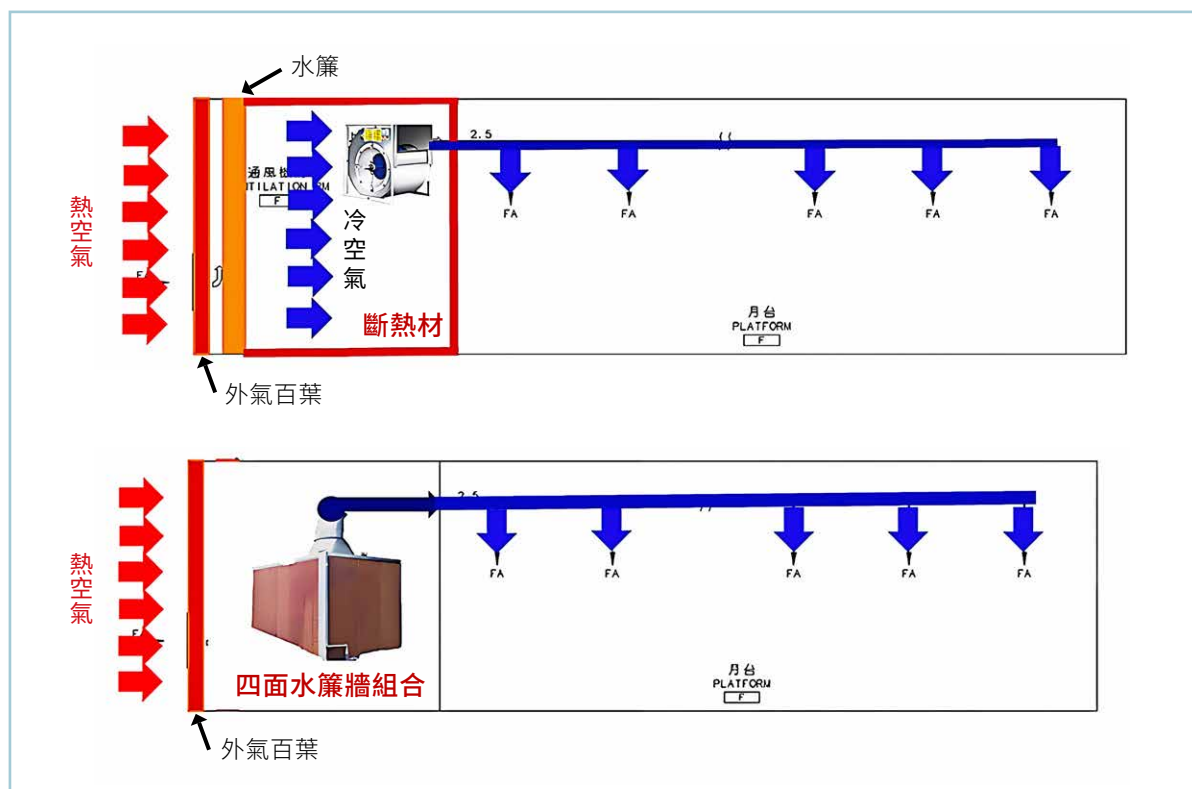


圖 13 三鶯線蒸發冷卻及局部通風設計示意

於機房內設置 1 台 10.5kw 分離式冷氣輔助，形成複合式空調系統，可於極端高溫的戶外環境下，仍然能夠有效的提供舒適性，水簾設施裝設在通風機房內以利日後維護，設計示意如圖 12、圖 13。

二、中國北京地鐵降溫工程

北京地鐵針對高溫問題，近年推動改善高架和地面車站的候車環境。自 2023 年起，啟動「熱環境改善工程」科研試點，與相關廠商合作研發適用於軌道交通場景的蒸發式冷風機。2024 年夏季，地鐵公司在所屬 17 條線路的 78 座車站中選定 16 座高架或地面站作為試點，安裝蒸發式冷風機以降低月台區溫度。根據現場監測儀器數據，

冷風機出風口附近的空氣溫度可降至 26℃ 以下，顯示出一定的降溫效果。

北京地鐵方面表示，此次是首度在地上車站大範圍加裝蒸發冷風機。在此之前年份，他們曾採取過安裝壁扇（俗稱搖頭風扇）以及設置空調候車室等方式為乘客降溫，但覆蓋範圍和效果有限。引入蒸發式冷風機後，月台大部分區域都有涼風覆蓋，如圖 14。研發單位在冷風機出風口特別加裝了射流噴口，使送風距離達 8～12 m，確保風擴散區域內乘客均感受到明顯涼意，降低了候車區乘客的體感溫度，後續將推廣至更多高架站，充分利用蒸發冷卻技術改善乘車體驗。



圖 14 中國北京車站設置蒸發式冷風機

三、其他城市高架站的應用

中國：在香港紅磡站、西安地鐵 3 號線、廣州地鐵 5 號線及天津地鐵 1 號線等車站，採用了單元式的直接蒸發冷卻空調機組為車站局部降溫，在地處乾燥地區的蘭州地鐵 1

號線與烏魯木齊地鐵 1 號線，採用了集中式的直接蒸發冷卻空調系統，將處理後的新風送入車站，如圖 15。



圖 15 天津地鐵 1 號線地鐵站實際工程

日本：連接橫濱市與埼玉市的京濱東北線地鐵站，也廣泛採用單元式的直接蒸發冷卻空調，兼具降溫與廣告功能為乘客提供降溫服務，如圖 16。



圖 16 日本京濱東北線地鐵站實際工程

歐洲：西班牙馬德里：在 Penagrande 與 Ilustracion 地鐵站採用了「冷霧式」的直接蒸發冷卻空調系統，將霧化的水氣直接噴灑於車站公共區，與空氣進行熱交換來降低溫度，英國倫敦：於 2008 至 2012 年間新建的地鐵線路中，其中一條線的車站也應用了冷霧式直接蒸發冷卻系統來為站內空氣降溫，如圖 17。

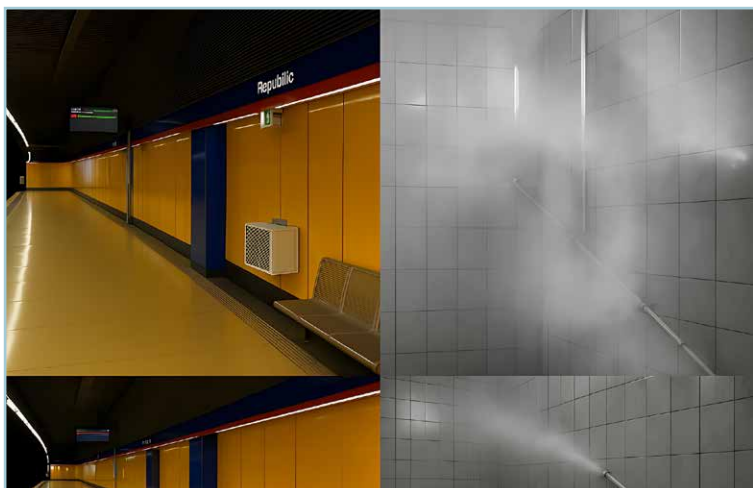


圖 17 馬德里地鐵站實際工程

中東：在中東炎熱乾燥的環境下，蒸發冷卻常用於公共場所降溫。沙烏地阿拉伯麥加地鐵（Al Mashaaer Al Mugaddassah）朝聖鐵路為應對開放式車站、傳統空調不適用的問題，在九個候車區設置了 279 台大型蒸發冷卻器。即使戶外超過 45°C，候車區依然涼爽，有效降低中暑風險，如圖 18。



圖 18 麥加地鐵蒸發冷卻裝置設置案例

陸、各通風降溫方式之效果比較 與節能評估

一、自然通風

自然通風是高架車站最基本的降溫方式，依賴建築本身的開放性設計，利用風壓、熱壓等自然力驅動空氣流動，達到換氣與部分降溫效果。其最大優點是完全被動、無需機械設備，運行能耗幾乎為零，維護簡單且環保。自然通風能有效導入新鮮空氣，稀釋站內熱氣與污染物，對於氣候溫和、風力充足的時段，能維持良好空氣品質與一定程度的舒適度。

然而，夏季高溫高濕或無風時，自然通風效果大幅下降。當室外氣溫超過 30°C，僅靠自然風難以將站內溫度降至舒適範圍，乘客仍會感到悶熱不適。根據熱舒適模型（如 PMV、ASHRAE 55），即使提高風速，當操作溫度超過 30°C 時，人體仍難以達到舒適區。因此，自然通風雖節能，但在極端氣候下無法單獨滿足高架車站的降溫需求。

二、直接蒸發式冷卻

直接蒸發式冷卻（Direct Evaporative Cooling, DEC）利用水的蒸發吸熱原理，將外部熱空氣經濕潤填料降溫後送入車站月台。此技術特別適合半開放式的高架車站，能顯著降低體感溫度。蒸發冷卻系統結構簡單，主要由風機、水泵和蒸發介質組成，初期投資與運行成本遠低於傳統空調。其能耗僅為傳統空調的 30% ~ 40%，運轉費用約為機械製冷方案的 1/4，維護也僅需定期清洗介質與檢查水質，維護費是機械製冷方案的 1/3。

降溫效果方面，蒸發冷卻在乾燥氣候下可降溫 9 ~ 12°C，在臺灣高溫高濕環境下，降溫幅度約為 2 ~ 5°C，但配合適當風速，乘客體感溫度可明顯改善。實際案例如天津地鐵高架站，環境溫度 39.5°C 時，出風溫度降至 29.5°C，蒸發冷卻效率達 80%。此外，蒸發冷卻與局部送風結合，將涼風定向送至乘客區域，進一步提升舒適度並避免能源浪費。

三、風扇

風扇（包括電風扇、循環扇）是高架車站常見的輔助通風設備。透過機械送風促進空氣流動，提升體感舒適度。風扇投資與運行成本極低，能耗僅為驅動馬達所需電力，維護簡單，幾乎無需專業保養。風扇可靈活布置於乘客聚集區，根據人流調整運作，提升局部通風效率。

然而，風扇本身無法實質降低空氣溫度，僅能提供風感，促進汗液蒸發以緩解悶熱。當環境溫度超過 31.5°C，即使提高風速，人體舒適度提升有限，甚至可能因風速過高而產生不適。研究顯示，風速超過 1.6m/s 後，對散熱效果的提升趨於飽和，繼續增加風速僅會增加能耗而無明顯舒適提升。因此，風扇適合作為輔助通風手段，但無法單獨解決高溫問題。

四、傳統壓縮機空調

傳統壓縮機空調（Vapor Compression AC）利用壓縮機與冷媒循環進行熱量轉移，能精確控制溫度與濕度。其降溫效果強勁，在密閉空間可將溫度降至 25°C 以下，提供最佳舒適度。空調系統可根據需求自動調節運作，適合長時間、密閉空間的冷房需求。

但在高架車站這類半開放空間，冷氣易流失，導致冷房效率極低，能源消耗驚人。運行成本高昂，且需專業人員定期維護冷媒、清洗濾網等。根據多項數據分析，傳統壓縮機空調的能耗通常是蒸發式冷卻的 2 倍以上，碳排放與環境負擔大。若僅在局部密閉候車室使用，雖可提供良好舒適度，

但空間狹小、投資與運行成本高，且易造成群聚感染風險。

以下針對各方式的降溫效果、節能表現、適用性與運行維護等面向進行系統性比較與評估，詳表 1。

表 1 各通風降溫方式之效果比較表

項目	自然通風	直接蒸發式冷卻	風扇	傳統壓縮機空調
適用空間	半開放 / 開放	半開放 / 開放	半開放 / 開放	密閉空間
能源消耗	幾乎為零	低（約傳統空調 30 ~ 40%）	極低	高
降溫效果	1 ~ 3° C	乾燥 9 ~ 12° C， 濕潤 2 ~ 5° C	無實質降溫	密閉空間 10° C 以上
運行成本	無	低	極低	高
空氣品質	新鮮空氣	新風+過濾	循環空氣	內循環，品質下降
環保效益	無碳排放	無冷媒，碳排放低	無冷媒，碳排放低	冷媒有環境風險
維護保養	幾乎無需	簡單	幾乎無需	複雜

從經濟性角度，蒸發冷卻+局部通風方案無疑具有明顯優勢。設備初期裝置成本低廉，在既有車站加裝改造也相對容易，不需大規模土建改造。運行費用方面，以北京為例，加裝冷風機後每站夏季用電增長有限，遠低於全面空調的能耗增幅，後續主要維護為是清洗濾網、水盤等簡易工作。反觀若採用全面空調，不僅一次性投資倍數上升，每年電費和設備維修保養也將成為營運單位沉重負擔。再者，蒸發冷卻系統使用壽命長、構造簡單及不易發生重大故障；即使單台機組故障，因多台分散布置也不致影響全局。而中央空調系統一旦

故障，整個月台恐無冷氣可用，可靠性相對較差。唯一需要關注的是蒸發冷卻系統對水源的依賴以及水質控制，需確保補給水清潔無雜質，以免水簾結垢或孳生細菌。這部分只要制定良好維護計畫即可克服，不影響其節能策略。

綜合考量，高架車站的通風降溫應採取「分區舒適、階梯改善」的策略：對於乘客短暫停留的區域提供明顯的涼爽感受（如候車區涼風徐來、溫度略降），無需達到全面冷房，從而將資源用在刀刃上達成最佳舒適 / 能耗平衡。實經證明，只要設計合理，

乘客在進站、候車、上車的整個過程中會感到環境逐步變涼、舒適度逐步提升。這種漸進改善的體驗雖不如一路恆溫舒適，但在可以接受的舒適範圍內，已極大減輕了酷熱帶來的壓力，同時避免了空調浪費，完全符合建築通透設計的降溫與節能共融的理念。

柒、未來設計準則精進與節能建議

針對高架車站夏季降溫通風的挑戰，未來的設計規範需做出相應調整，以落實上述創新策略並進一步優化。新北捷運建設後續在新規劃的汐止東湖線高架車站設計中，已將降溫通風的節能要求納入規範重點。根據最新規範的建議，自然通風仍是基礎但須評估氣候潛力，在方案確定前必須收集車站所處地區的全年氣象參數，分析自然通風潛力，包括年中有多少時間室外條件適宜只靠自然風維持舒適。當氣候條件超出自然通風適用範圍（如日間超過 28℃，無涼風或濕度過高時），規範建議必須引入機械通風或降溫措施作為補充。也就是說，不再假設任何情況下開放車站僅能靠天吃飯，而是主動針對高溫氣候預作準備。

其中一項重點規範是：當夏季氣溫超過 28～30℃ 時，半開放式之高架月台候車區應設置直接蒸發冷卻水簾降溫裝置及局部通風設備，規範建議在月台等候區和座位區安裝足夠數量的蒸發冷卻通風設施，以保證該區域環境溫度控制在 32℃ 以下，同時在乘客高度約 1.2 公尺處能夠感受到 1.5～3.0 m/s 的空氣流動。這樣可確保乘客一進入候車區便有明顯的涼意，即便室外依然酷熱，站內仍可較戶外降低約 2℃ 以上，且有清爽微風拂面。規範同時強調了

節能考量，由於乘客在穿堂和月台只屬短暫通過或停留，因此無需全區達到室內空調的低溫，只要讓人感覺比戶外涼爽即可。這一理念避免了過度設計和能源浪費，聚焦「人體感受明顯的改進」而非絕對數值的追求。

在節能管理方面，未來車站建議引入智能控制系統來動態調節通風降溫設備。例如根據站內溫度、濕度感測器數據，自動啟停蒸發冷卻機組和風機，在人流少或氣溫適中時則關閉運轉。亦可設定多級運轉模式，平常風機低速通風節能，當氣溫超標或人潮湧現時則自動切換高速並啟動水簾降溫。這樣不僅保持舒適度，亦確保能源依需求投入，減少浪費。

除此之外，未來規範可鼓勵創新技術的採用，如間接蒸發冷卻（利用二次空氣間接冷卻主要送風，避免增加濕度）或雙效冷卻（結合蒸發與壓縮製冷雙模式，在最炎熱的天氣下啟用壓縮機輔助降溫）。這些技術可在保持高 COP 的同時，進一步拓展蒸發冷卻的適用範圍。當然，其系統複雜度和造價也需權衡。最後，乘客舒適調查和反饋機制也應納入考量，透過收集實際使用者對車站內熱環境的評價，不斷修正和優化設計標準，形成以人為本的良性循環。

捌、結論

高架車站在高溫高濕氣候下的熱舒適問題，隨著全球暖化和都市熱島效應加劇，已成為不可忽視的挑戰。傳統完全依賴自然通風或提高風速降溫的方式已難以應對嚴苛氣候，而全面空調又不具可行性且違背節能減碳趨勢。在此背景下，直接蒸發冷卻結合局部通風的降溫通風策略，為高架車

站提供了一條切實可行的中道。它充分利用了水的相變化吸熱原理和空氣動力學，以遠低於傳統空調的能耗，顯著改善乘客體感舒適度。眾多國內外案例顯示，這一策略已在實務中取得成功，從臺灣三鶯線試點到北京、天津等地鐵高架站的應用，再到沙烏地大規模朝聖專線的驗證，蒸發冷卻通風降溫技術的有效性和可靠性均得到證明。當前此技術應用已成趨勢，許多新建或改造的高架站紛紛將其納入設計考量，以期在乘客舒適與節能低碳之間取得更佳平衡。

當然，任何技術方案都有其適用範圍和注意事項。蒸發冷卻對環境條件敏感，在極端潮濕條件下則降溫幅度有限，局部通風則需避免風速過強造成不適。因此在實際應用中，須根據當地氣候特徵、車站結構和人流狀況，因地制宜地設計系統參數（例如水簾面積、送風量、風口布局等），並配合智能控制以動態優化效果。只要設計與運維得當，高架車站完全可以透過上述策略實現「有涼意、無冷氣」的舒適體驗：乘客雖身處半戶外環境，仍感覺到陣陣涼風撲面，炎熱大為緩解，而營運方也無須背負沉重的能源負擔。

總而言之，高架車站降溫通風與節能設計並非互斥無解之題。我們需要轉變傳統思維，善用自然和工程手段的結合。在極端氣候新常態下，透過直接蒸發冷卻等創新技術，配合有效的通風規劃與智慧控制，高架車站也能打造舒適的候車環境。同時，這樣的設計策略大幅降低能耗，響應了當今綠色永續交通的發展方向。未來隨著技術進步與更多實踐經驗累積，高架車站的降溫通風準則將持續精進，為乘客提供安全舒適的乘車體驗之餘，亦為城市之節能

減碳做出貢獻，高架車站的夏日酷熱難題，在科學與創新的加持下，終將找到兼顧舒適與能源的最佳解方。

玖、誌謝

本文之撰寫期間，承蒙三鶯捷運線統包工程團隊負責細部設計之亞新工程顧問股份有限公司王銘振工程師，協助提供部分蒸發冷卻設備技術資料與配置圖，特此致謝。

參考文獻

1. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria . In ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment.
2. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. In ANSI/ASHRAE Standard 55 Addendum d to Standard 55-2017 (August 3,2020) .
3. 三鶯線統包團隊（日立軌道交通號誌系統（股）有限公司／榮工工程股份有限公司／株式會社日立製作所共同承攬），「三鶯線站體空間隔熱、散熱措施研析評估報告撰寫資料」（2020.10）。
4. 三鶯線統包團隊（日立軌道交通號誌系統（股）有限公司／榮工工程股份有限公司／株式會社日立製作所共同承攬），「SYL-TK01-EQD-FEC-2048 水環工程蒸發冷卻設備型錄」（2025.5）。
5. 北京地鐵啟動熱環境改善工程 加裝空調或冷風機 16 處地上站完成站臺“降溫”（2024.7.17）。北京日報。檢自：

https://www.beijing.gov.cn/gate/big5/www.beijing.gov.cn/ywdt/gzdt/202407/t20240717_3751315.html

6.A. Alharbi, R. Boukhanouf, T. Habeebullah, H. Ibrahim. Thermal Performance and Environmental Assessment of Evaporative Cooling System: Case of Valley, Saudi Arabia. In World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Structural and Construction and Architectural Engineering Vol:8, No:5 (2014) .

7. 范少光、湯浩、張衡。人體生理學。北京醫科大學；中國協和醫科大學聯合出版社（1996）。

8.Transit Development Corp., Washington, D.C..Subway Environmental Design Handbook, Urban Mass Transit Administration (1976) .

9. 中國建築標準設計研究院。蒸發冷卻通風空調系統設計與安裝。國家建築標準設計圖集 15K515（2015）。

10. 胡鋒、張玉鳳。南京地鐵 S8 線某高架車站通風空調系統設計。北方建築，3（1），2096-2118（2018） 01-0031-04（2018）。

11. 徐大海、朱蓉。人對溫度、濕度、風速的感覺與衣著指數的分析研究。應用氣象學報，11（4）（2000）。

12. 史曉蕾、鄭利生。工業廠房系統式局部送風的設計與計算要點探討。製冷與空調，

33（3），1671-6612（2019） 03-269-05（2019）。

13. 吳磊、黃翔、金洋帆、喬小博、牛永勝。蘭州某地鐵站直接蒸發冷卻設備實測與分析。製冷與空調。35（2），1671-6612（2021） 02-249-05（2021）。

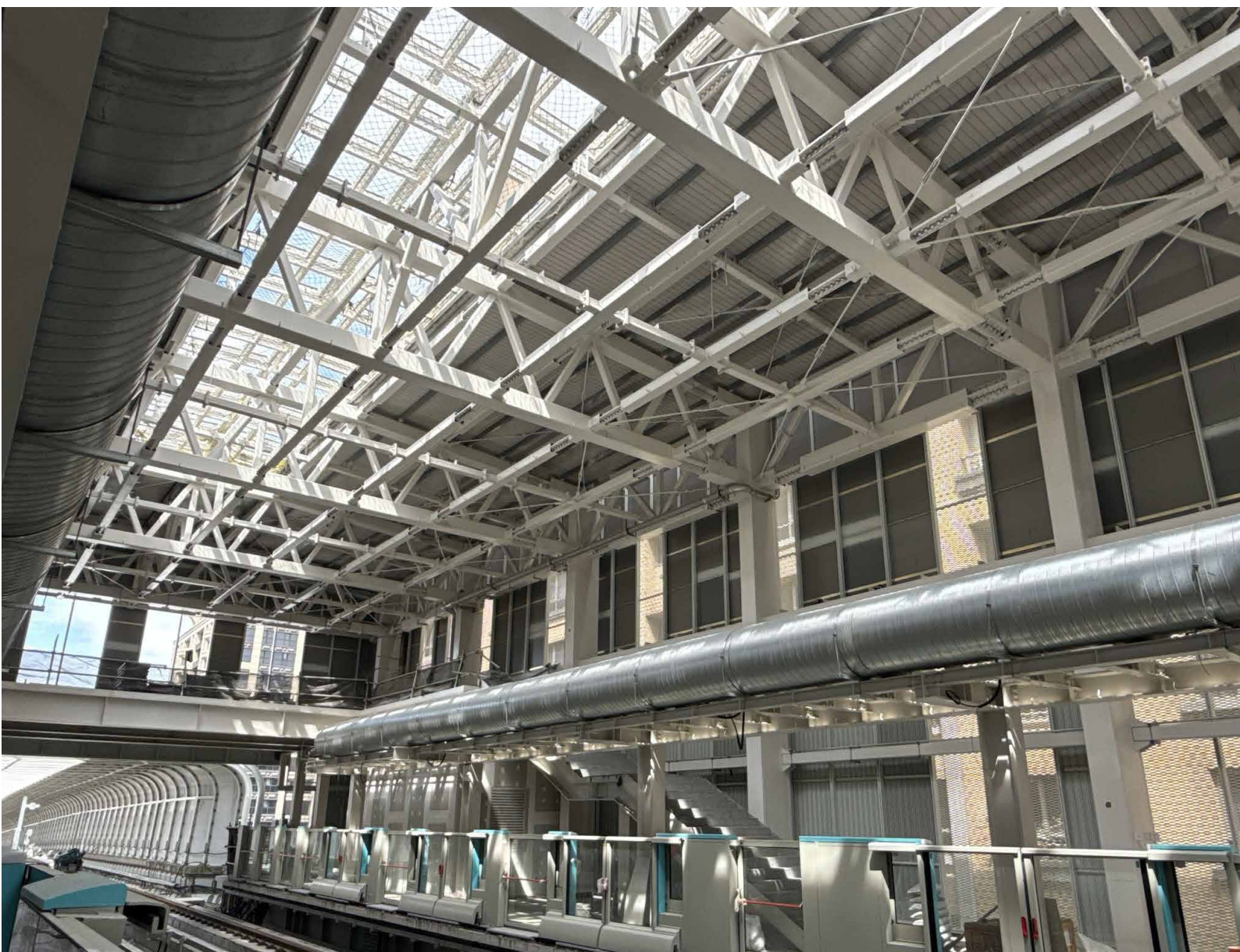
14. 喬小博。直接蒸發冷卻通風降溫在地鐵高架車站的應用。鐵道標準設計，2011（9）（2011）。

15. 楊文驍、劉煜、蘭利、王芳。室內氣流對人體熱舒適影響的研究進展及展望。製冷與空調，35（5），1671-6612（2021） 05-645-11（2021）。

16. 談美蘭、李百戰、李文杰，劉紅、鄭詒、許孟楠。夏季空氣流動對人體熱舒適性的影響。土木建築與環境工程，33（2），1674-4764（2011） 02-0070-04（2011）。

17. 吳磊、黃翔、常若新、寇凡、喬小博。蒸發冷卻（凝）技術在國內外地鐵站的應用研究。製冷與空調，35（3），1671-6612（2021） 03-461-06（2021）。

18. 寇凡、黃翔、羅絨、馬健、喬小博。蒸發冷卻技術在軌道交通領域的應用形式探討。製冷與空調，35（3），1671-6612（2021） 03-401-06（2021）。



三鶯線捷運節能減碳規劃設計

關鍵詞 Keywords

節能減碳 Energy Conservation and Carbon Reduction

新北市政府
捷運工程局

局長
李政安

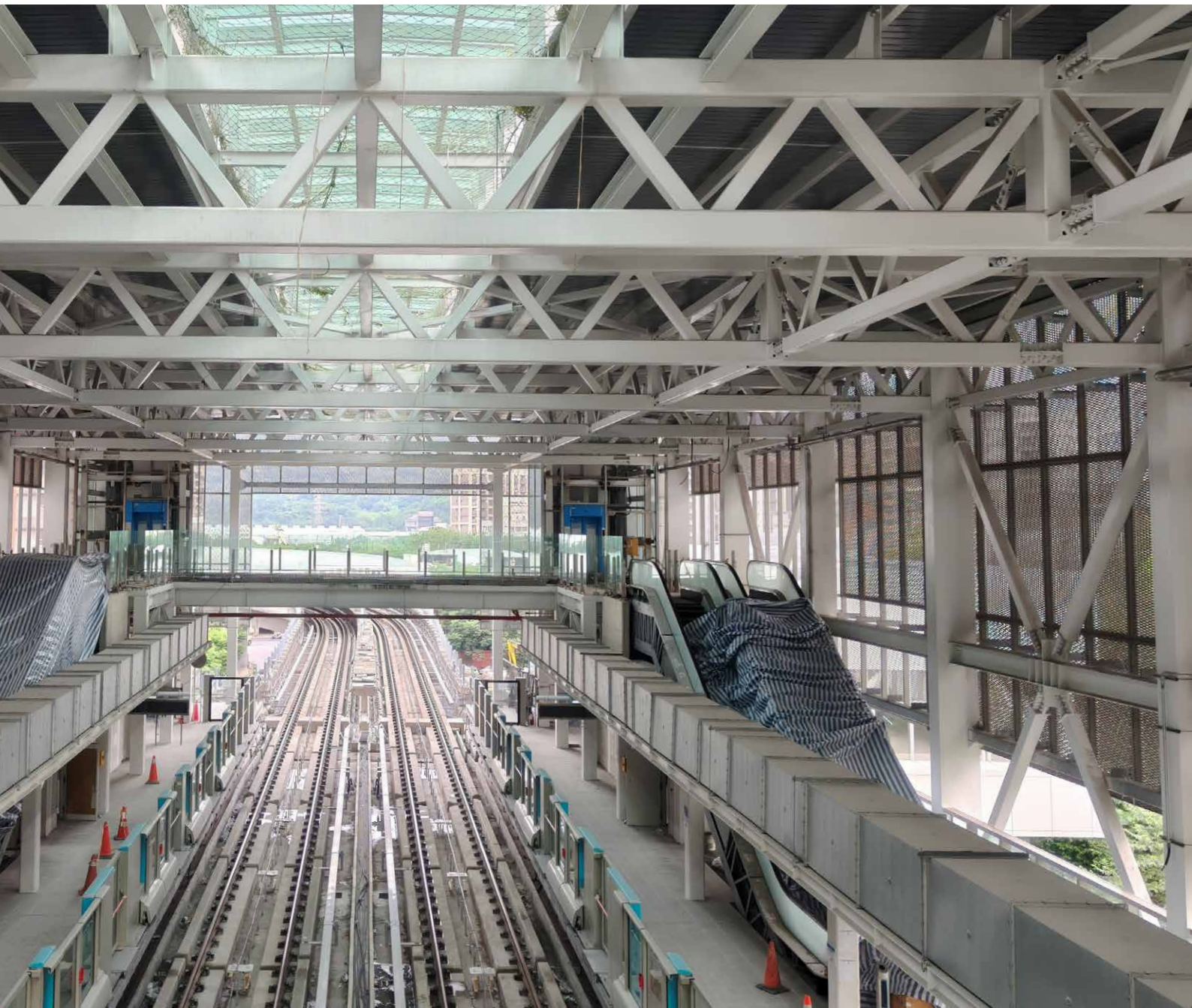
台灣世曦工程顧問股份有限公司
捷運工程部

計畫經理
詹宏義

正工程師
盧建志



三鶯線的節能減碳設計分為土木建築及系統機電兩大方面。土木建築部分主要依循綠建築評估系統進行規劃與設計；系統機電則著重於降低耗能及提升能源回收效率。本文簡要說明三鶯線在節能減碳方面的初期規劃理念、細部設計考量及施工現況成果，希冀可供各界參考。



壹、前言

行政院公共工程委員會於 2011 年提出「永續公共工程——節能減碳政策白皮書」，期在建設計畫帶動經濟發展的同時，檢視其全生命週期各階段應用符合永續理念工法及材料之可能。三鶯線捷運系統計畫（以下簡稱三鶯線）於 2015 年辦理「三鶯線暨周邊土地開發綜合規劃報告書」期間，提出營運永續計畫基本設計理念，並於 2021 年完成「三鶯線捷運系統計畫統包工程」節能減碳細部設計，目前正積極趨趕工進，並預計於 2025 年底完工後交付營運。

本文將說明三鶯線捷運節能減碳規劃設計，包含初期規劃理念、細部設計考量及施工現況成果，以供各界參考。

貳、初期規劃理念

「永續發展」強調文明演進與環境生態的和諧共存，「大眾捷運系統建設及周邊土地開發計畫申請與審查作業要點」規定，大眾捷運系統於規劃階段應提出營運永續計畫書，而為達到建設推動與自然環境共生共存的永續發展目標，節能減碳規劃設計為其重要策略，「三鶯線暨周邊土地開發綜合規劃報告書」相關考量摘錄如下。

一、減少環境層面衝擊

（一）公害防治

營運中電聯車最大噪音量限制、營運中電聯車對鄰近建築物噪音與振動防治規劃、維修機廠及變電站噪音與振動防治規劃、場站水電應具備污水處理設施及油脂截留

器並定期清理、排水管確實接入污水處理設施或污水下水道、降低施工噪音規劃等。

（二）二氧化碳減量

車站及出入口屋頂結構採鋼結構或空間桁架等輕巧造型設計、短跨度高架橋採小斷面預力梁設計、長跨度高架橋採斜張橋或鋼橋等設計，以期減少混凝土使用量。

（三）環境調和度

建築及景觀應尊重環境地貌與生態，提出符合地區、生活、文化之規劃。

（四）減災與防災

設備維修計畫提出緊急應變運轉計畫、安全維護計畫及沿線災害偵測設施配置計畫，就防火、防洪、防汛、防震及緊急疏散、運轉等整體安全事項提出完善規劃。路線緊急逃生構想規劃、車站規劃提出車站消防安全及防災構想等。

（五）經營維護指標

車輛、號誌、供電、通信、機廠維修設備及軌道規劃低維護管理之設備。車站規劃提出低維護管理之建材。

二、維持生態層面策略

（一）環境綠化及復育指標

建築景觀減少對現有植栽破壞，並選擇適合綠化樹種。

（二）生態工法應用指標

土建規劃中納入以生態為基礎水土保持，落實生物多樣性保育之生態工法理念。

（三）保水性指標

建築景觀規劃中，就橋下區域涵養水分不足問題提出規劃構想，以提高保水性。

三、節省資源再利用方法

（一）水資源利用及節水指標

捷運機廠的衛生設備皆應採用省水標章產品。另為達到水資源有效利用，捷運場站考量規劃雨水儲集再利用系統，作為廁所沖洗及花園植栽等灌溉使用。

（二）能源使用效率及節能指標

規劃用電最佳化計畫，含節能、再生能源與可持續性能源利用等相關計畫。建議可於屋頂設計時，納入太陽能光電板規劃以供給車站夜間照明。建築外觀節能部分，廠站建築可提出阻隔輻射熱之設計對策，如採用低輻射玻璃等。

（三）照明節能規劃部分

機廠照明節能應規劃採用高效率燈具，如：電子式安定器、高反射塗裝之螢光燈或複金屬燈、鈉氣燈以節省能源，尤其在捷運場站空間等挑高空間，應採用高投光效率的複金屬燈，能兼顧照明品質與節能功效。機廠採自然採光設計，同時利用分區

開關控制、自動晝光節約照明控制系統及紅外線控制等功能。車站照明亦採自然採光設計，因站體採輕巧簡潔設計，除必要性盡量減少照明配置。

（四）最少土方及棄土處理指標

於土建規劃中，進行借土砂石料源調查及剩餘土石方處理規劃，對於開挖及回填土方提出最小開挖量、挖填方平衡及棄土處理等計畫。

四、綠色材料利用指標

於土建規劃中，提出使用綠色材料及再生建材，如鋼材與玻璃等。

參、細部設計考量

三鶯線捷運節能減碳細部設計主要分為土木建築及系統機電兩大部分，相關考量分述如下：

一、土木建築節能設計

（一）綠建築設計

全線站體基於綠建築規劃理念，訂定節能與減碳相關策略。根據捷運站體特性及在地環境特色，提出量體、外觀、空間、材料等設計構想，如圖 1 及圖 2 所示。

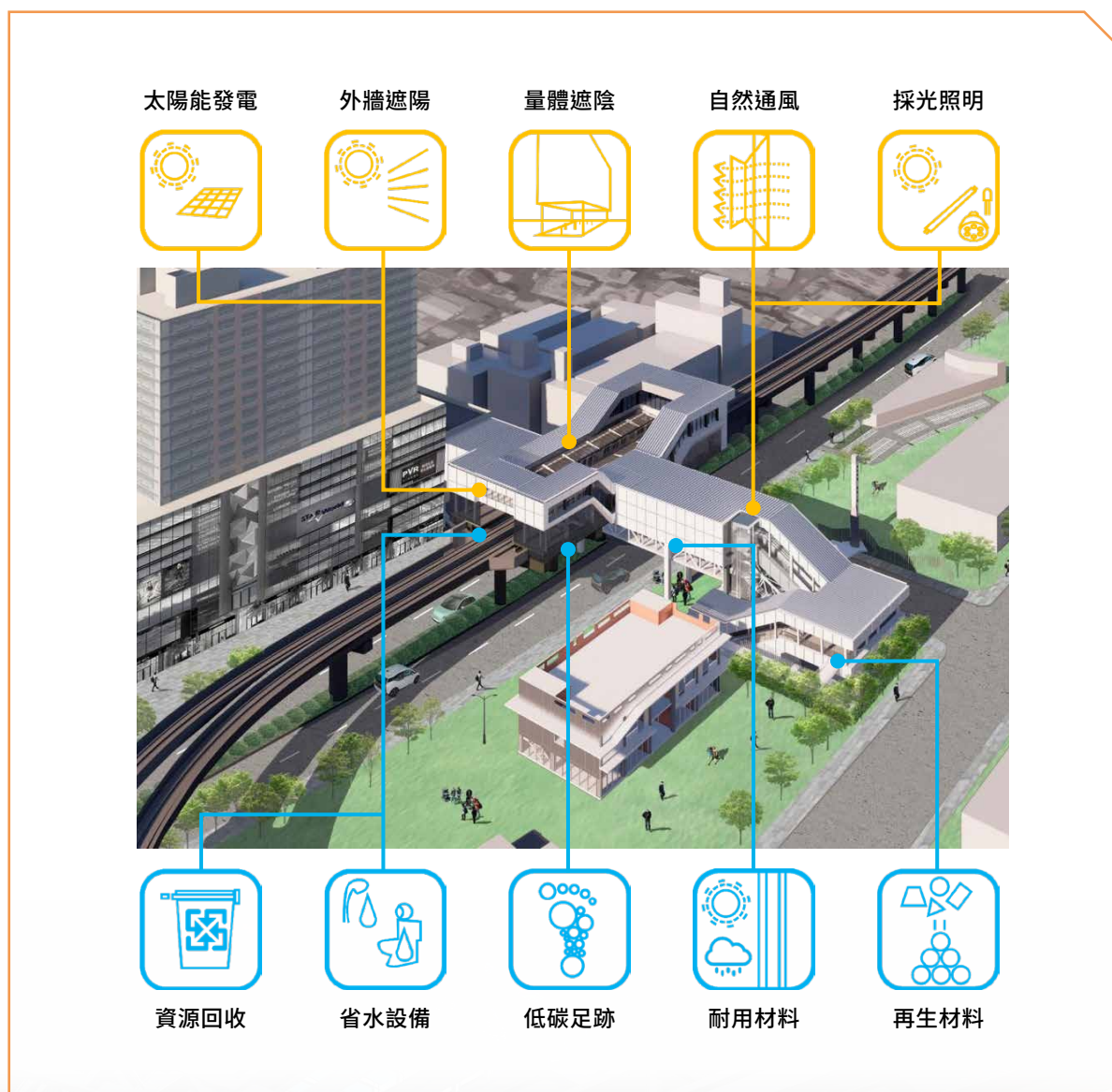
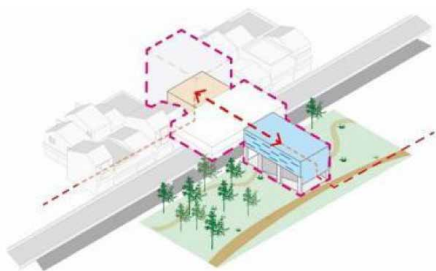


圖 1 綠建築策略總覽圖 (以 LB07 站體為例)



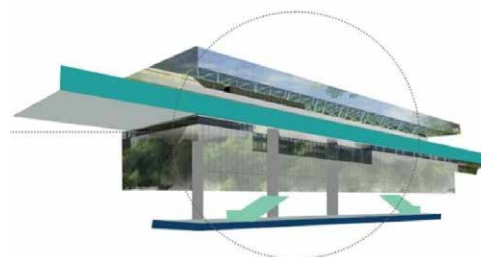
最佳化量體配置

捷運系統使得既有街區之間的連結性減弱，影響開放空間的使用。建築量體運用高架站體及兩處出入口，將分割的區域重新串聯，儘量保留與自然的互動。



合理造型設計

全線造型以交通機能的簡單盒子為設計主軸，搭配單純的立面元素，於複雜的都市景觀凸顯其特色。合理的建築外型可避免建材浪費，並確保耐震安全。



高效率建築節能

屋頂以岩棉及PS隔熱板達到內部降溫效果，外牆以小型開窗及深窗遮陽減少熱負荷。室內公共空間採用LED節能燈具，並設置二線式照明控制系統。



低碳材料運用

站體採用鋼骨結構減少自重，出入口之鋼筋混凝土結構採用碳排放量較低的爐石替代水泥。室內外地坪採用環保標章認證之再生面磚，達到廢棄物減量。



自然通風採光

大廳及走廊以金屬擴張網、玻璃護欄圍塑半戶外空間，讓過濾後的陽光與空氣進入內部，達到自然採光與通風。另以金屬天花板增加導光，節約照明用電。



室內空間綠美化

站體內部以耐陰、多年生、少落葉的植栽進行綠美化，與室外環境做出區隔，增加空間舒適度。空調主機場以金屬格柵及抵石子牆美化，降低視覺影響。



圖 2 綠建築策略示意圖

全線站體依據內政部「綠建築標章申請審核認可及使用作業要點」辦理綠建築認證，除「生物多樣性、綠化量、基地保水」三項指標因基地條件不足故不予評估，於「日常節能、二氧化碳減量、廢棄

物減量、室內環境、水資源、污水垃圾改善」六項指標提出多樣化設計內容，重點項目如表 1 所示，設計階段最終獲得 3 個車站「黃金級」、9 個車站「銀級」的「候選綠建築證書」評定結果。

表 1 綠建築評估總表

指標群	指標名稱	設計檢討	得分上限
生態	生物多樣性	● 基地面積小於一公頃故免予評估	-
	綠化量	● 基地條件不足故不予評估	-
	基地保水	● 基地條件不足故不予評估	-
節能	日常節能	● 屋頂以低熱傳遞材料加強隔熱效果 ● 外牆採用擴張網遮陽及小型開窗設計	14
		● 空調採用多聯變頻中央空調系統 ● 屋頂設置太陽能板提供設備用電	12
		● 主要空間使用高效率 LED 燈具 ● 公共區域設置二線式照明控制系統	6
減廢	二氧化碳減量	● 長形量體平面及立面設計合理 ● 空調及給排水管線為明管設計 ● 採用再生面磚減少原生材料開發	8
	廢棄物減量	● RC 結構以爐石替代水泥減少碳排放 ● 採用高性能混凝土減少水泥用量 ● 確實執行各項污染物防制措施	8
健康	室內環境	● 門窗隔音符合氣密性 2 等級 ● 所有居室具有外氣供應或自然通風 ● 天花板、牆面裝修多採用綠建材	12
	水資源	● 全面採用省水標章之衛生器具	8
	污水垃圾改善	● 污水先排放至陰井再連接至衛生下水道 ● 設置垃圾儲藏室並執行資源回收	5
合計總分 RS 上限			73

(二) 電扶梯節能設計

電扶梯驅動系統配合微處理器以變壓變頻控制 (VVVF)，較傳統方式可降低約 20 ~ 30% 電力消耗。電扶梯設計雙營運速度及無人搭乘怠速運轉模式，每部電扶梯除能

以 39M/MIN 額定速度運轉外，尚可藉由切換開關選用 30M/MIN 速度運轉，並可藉由光電感應裝置偵測，無人搭乘時，電扶梯自動降為怠速運轉，如圖 3 所示。另外，電扶梯使用之所有燈具均採用省電型燈具或 LED 燈型式。

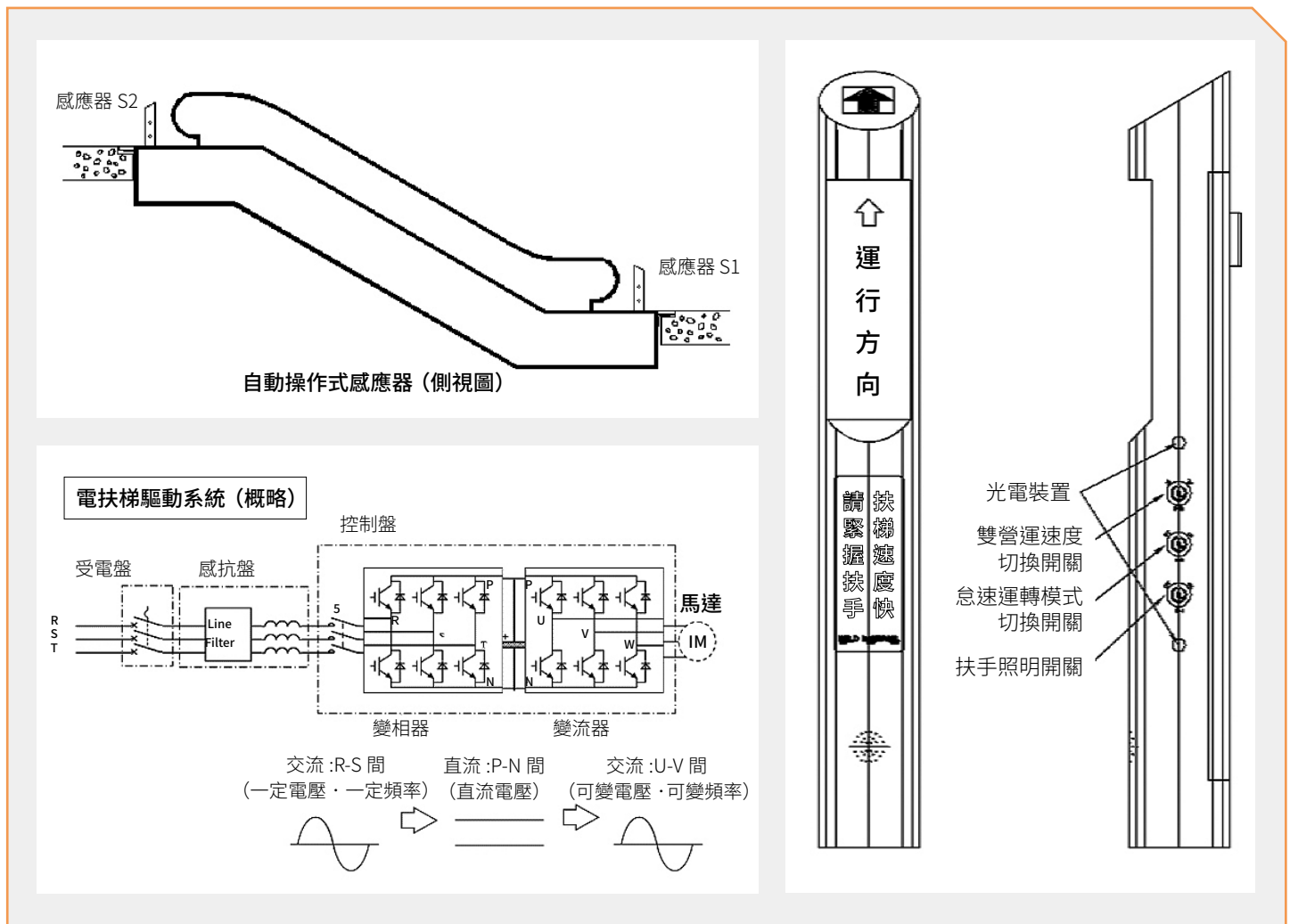


圖 3 電扶梯節能設計

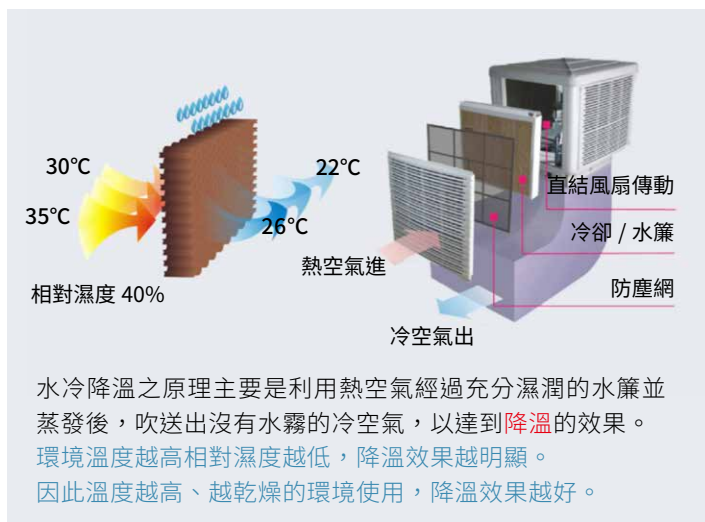
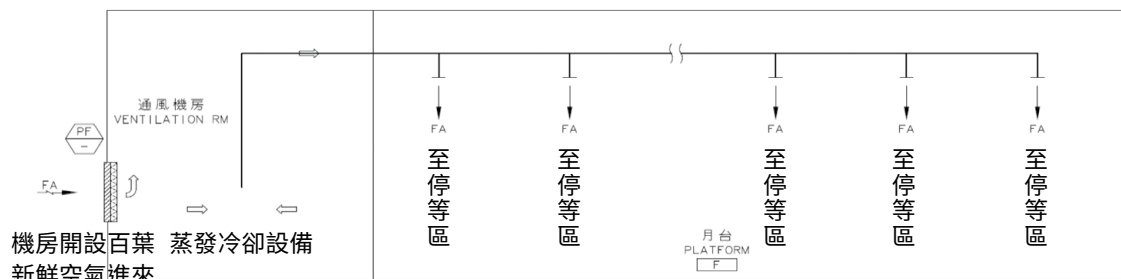
(三) 高架車站月台自然通風搭配冷卻系統設計

三鶯線車站採用自然通風設計原則，透過隔熱屋頂、太子樓側邊開口及擴張網外牆設計，藉熱浮力及列車進出站風壓完成有效通風，營造舒適且節能的搭車環境，如圖 4 所示。

另為顧及近期極端氣候影響，車站設有蒸發冷卻系統，當外氣溫度高於標準，即啟動通風模式進行降溫，讓候車旅客體感更為舒適，相關設計評估結果如圖 5 所示。



圖 4 高架車站自然通風設計示意圖

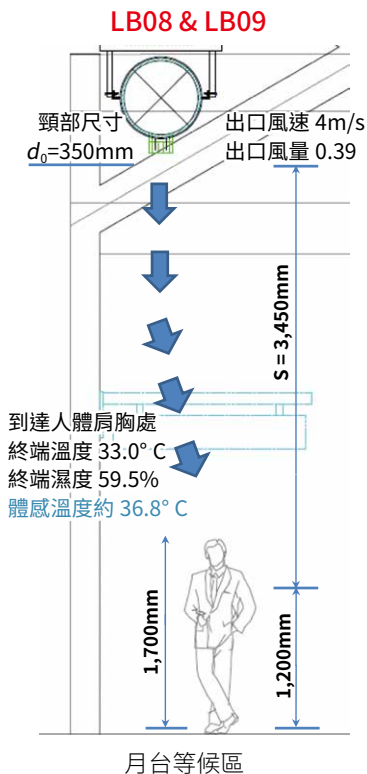


蒸發冷卻設備優點

1. 耗電量少
2. 僅使用自來水作熱交換
3. 可淨化空氣
4. 自動補水
5. 適用於開放式 / 半開放式空間
6. 環境溫度越高相對濕度越低，降溫效果越明顯
7. 易維護保養
8. 方便移動

(本圖未完，請接下一頁↓)

◎車站月台 - (島式月台) 之站內 & 等候區體感溫度 - 風口至地面高度約為 5m



- (1) 藉由“局部送風”方式，可以有效降低“月台乘客等候區”溫度。
- (2) 滿足風速要求下：氣流寬度越大，提高局部送風效果越好。

< 人體的體感溫度感受探討 >

濕度越高時：人體皮膚表層散熱不易，人體會感受到較實際氣溫還要高之溫度；
風速較強時：會加速人體皮膚表層的散熱，使人體感受之溫度較實際氣溫低。

- 到達人體肩胸處：(a) 終端溫度 33.0°C
(b) 終端濕度 59.5%
(c) 體感溫度約 36.8°C

各項數值比較表

項目	終端風比較	風量比較	終端溫度比較	相對濕度比較	體感溫度比較	備註
無風狀態	0m/s	--	35°C	55%	39.9°C	較輔助通風開啟溫差約 3.1°C
一般狀態	0.5m/s	--	35°C	55%	39.5°C	較輔助通風開啟溫差約 2.7°C
輔助通風開啟狀態	1.2m/s	2.6 $105 \times 0.502 = 52.71$	33°C	59.5%	36.8°C	

節能環保 - 碳中和

全球暖化一直是國際間最重視的議題，國際間也在去年 2021 年 11 月召開第 26 屆聯合國氣候變遷大會 (COP26) 期望藉由逐步減少化石燃料、減碳及推行再生能源來對應目前氣候的變遷。

方案	氣冷式冷氣	蒸發冷卻設備	備註
設備樣式			
耗電量	單邊： 28KW，月台層需求 2 台 => 耗電量 $= (28 \times 2) \times 7(\text{hr})$ = 392 度電 (單日使用 392 度電)	單邊： 7.5KW，月台層需求 2 台 380V 7.5KW 4.8cms => 耗電量 $= (7.5 \times 2) \times 7(\text{hr})$ = 105 度電 (單日使用 105 度電)	耗電計算公式： 電能→耗電 1000W 的電器，使用 1 小時的用電量。 1 度電 = 1kW(仟瓦) × 1h(小時)
碳排放量	$392 \times 0.502 = 374.38$	$105 \times 0.502 = 52.71$	採用能源局 110 年公告之電力係數 : 0.502 公斤 CO ₂ e / 度
分析	冷氣在密閉空間較為合適，容易因開放空間影響效果	相較於冷氣“降溫幅度較小，但降溫能力優於風扇	
綜合評估	針對於高架站的特性，水冷扇除了能夠滿足基本換氣條件亦能降低區域溫度，對於屬開放空間的月台層而言，利用水簾降溫能減少冷媒使用，進而達到節能減碳的目的。		

圖 5 蒸發冷卻系統設計評估結果

(四) 其他

諸如 LED 燈具選用、省水設備使用、施工階段考量保存原工址之植被與物種、綠化規劃設計使用在地物種或碳儲存效能較佳植生等。

二、系統機電節能設計

(一) 降低能耗設計

在列車設計時，透過選用輕量化車體材料並搭配簡潔內外裝，降低列車總重，以減少離站加速與爬坡時的能源消耗。而在車內外照明設備選用上，亦儘量選擇低耗能之照明裝置，以降低營運過程的電力需求。除此之外，亦透過電聯車之列車管理系統設計，配合 ATS 系統控制程序，讓電聯車能根據不同運轉狀態（在主線上提供服務、暫時停放在機廠或儲車軌、夜間停放在儲車區、在維修工廠進行檢修等），被設定成不同的營運模式，此時車載設備，

例如空調、一般照明、與客資訊系統等，將根據不同的營運模式開啟或關閉，如此可以有效降低列車在啟動過程或待命時之能源損耗，同時又能兼顧營運調度彈性的需求。

(二) 能源回收設計

在營運過程中，電聯車的牽引動力系統設計可於電力煞車過程產生再生電力，並透過導電軌將其分布至主線供電區段，以提供其他線上列車之輔助電力負載，或加速與爬坡時使用。為此，電力系統設計需考量此情況，以承受再生電力所產生之較高電壓。在列車運轉規劃上，可透過 ATS 系統以設定時刻表方式使用再生電力，透過時刻表排班，將同一軌道加速離站與減速進站的列車安排於同一時間，將可有效利用電力煞車過程所產生之再生電力，減少其被轉換成熱能消耗之情況，如圖 6 所示。

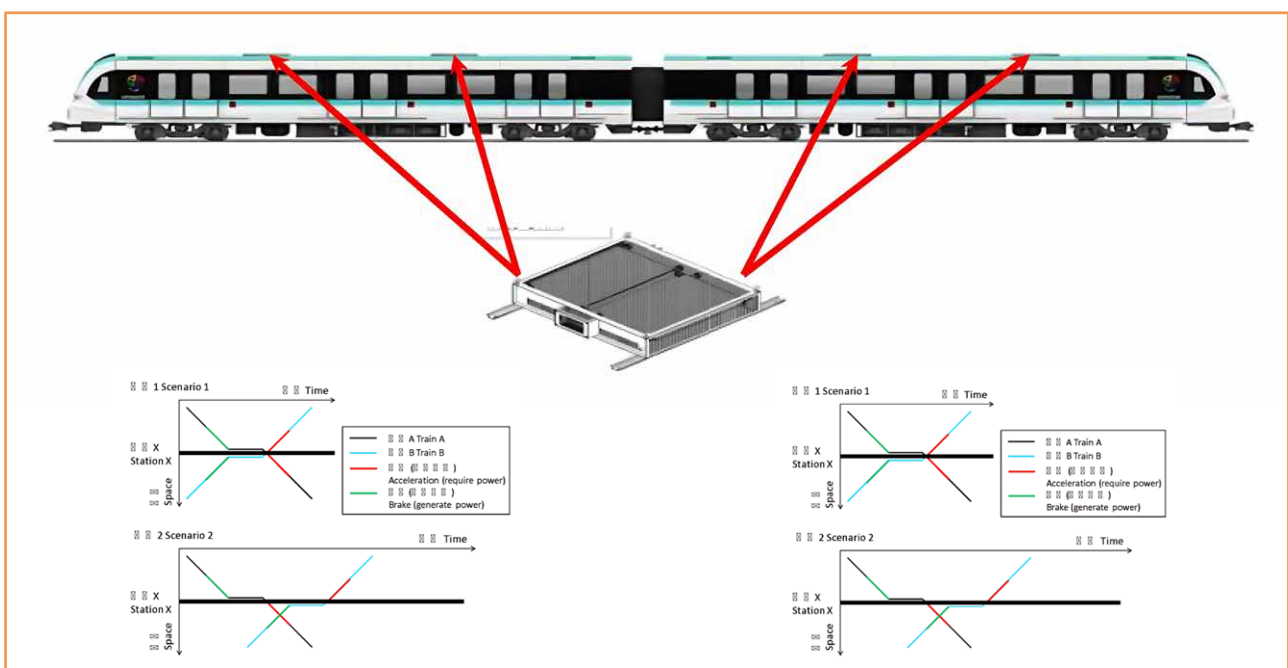


圖 6 煞車再生電力運用示意圖

肆、施工現況成果

2025 年 5 月，捷運三峽站（LB06 車站）施工已完成屋頂太子樓及外牆擴張網，如圖 7 所示，高架車站月台採自然通風搭配冷卻系統設計。

三鶯線電扶梯驅動系統配合微處理器以變壓變頻控制，並搭配雙營運速度及無人搭乘怠速運轉模式、省電型燈具等節能設計，2025 年 5 月施工照片如圖 8 所示。



圖 7 三鶯線捷運三峽站（LB06 車站）2025 年 5 月施工照片

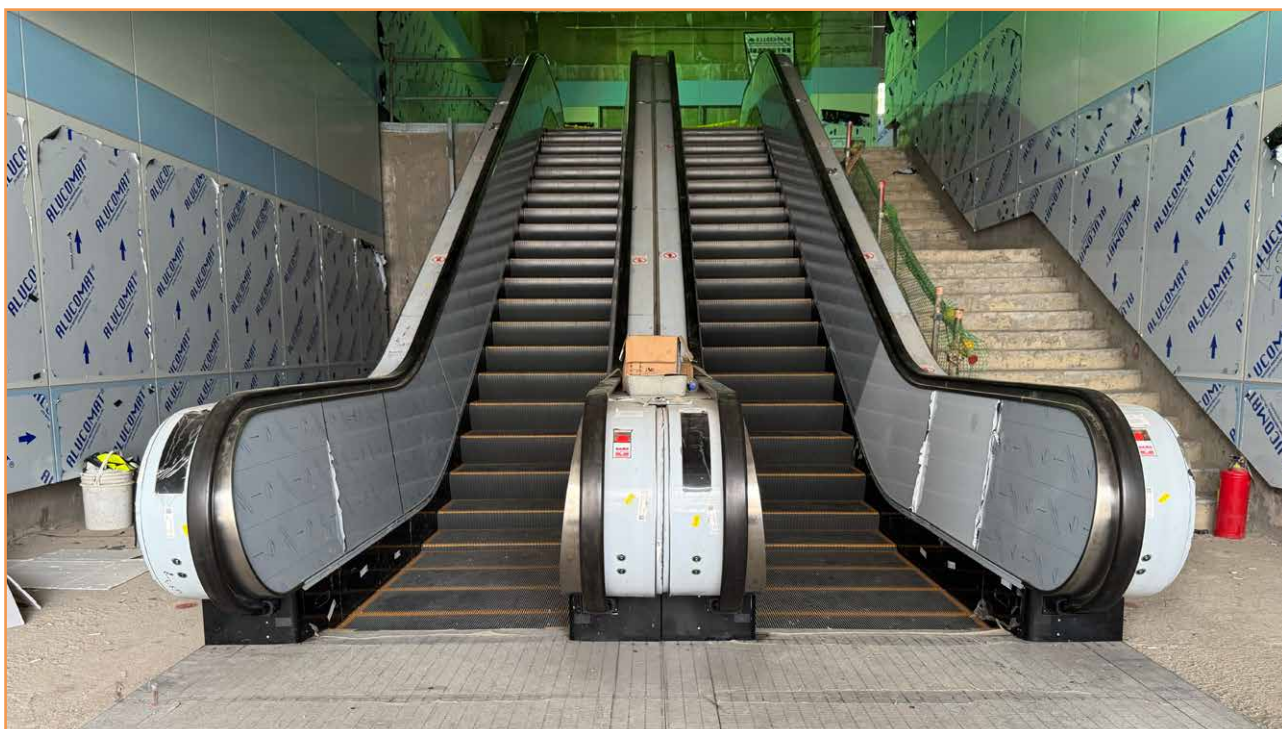


圖 8 三鶯線電扶梯 2025 年 5 月施工照片

三鶯線列車已完成推進與電力煞車系統整合測試，如圖 9 所示，兼顧降低能耗及能源回收設計。

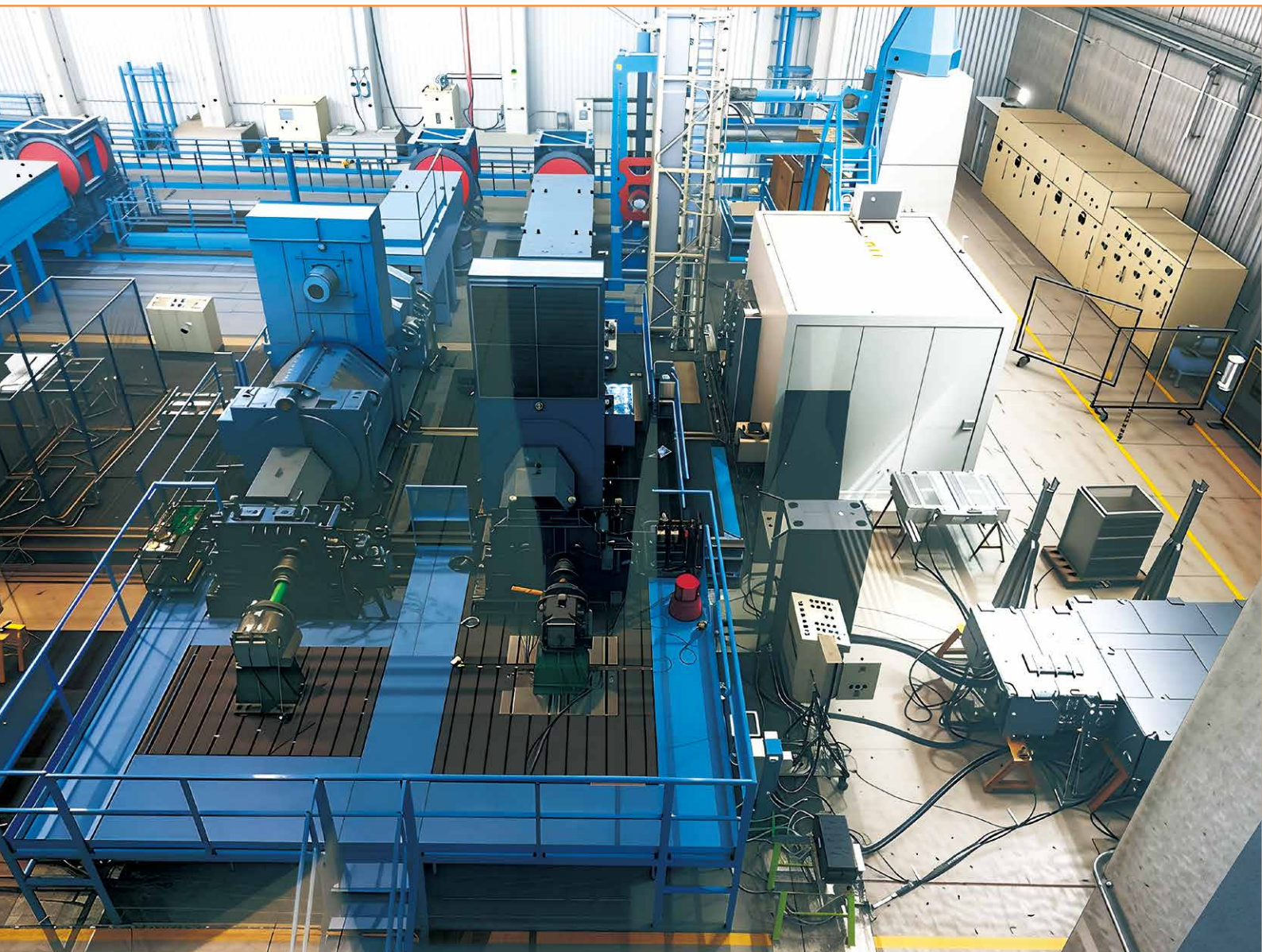


圖 9 三鶯線列車推進與電力煞車系統整合測試照片

伍、結論與建議

三鶯線節能減碳設計分成土木建築及系統機電兩大方面。

土木建築部分，三鶯線採用太陽能發電、外牆遮陽、量體遮陰、自然通風、採光照明、資源回收、省水設備、低碳足跡、耐用材料、再生材料等策略，在綠建築標章取得 3 站黃金級、9 站銀級的候選證書，也是第一個取得涵蓋設施管理等 8 項指標候選智慧建築證書的捷運車站。除此之外，電扶梯採用變壓變頻控制、月台蒸發冷卻系統，兼顧節能與舒適，也是三鶯線節能設計的一環。

系統機電部分，三鶯線採用輕量化車體以降低耗能，並配合自動化控制的列車管理系統，可有效降低列車在啟動過程或待命時之能源損耗，同時兼顧營運調度彈性的需求。另外，煞車過程所產生的再生電力，則予以回收作為輔助電力再利用。

本文提供三鶯線節能減碳初期規劃理念、細部設計考量及施工現況成果簡要說明，希冀可供各界參考。

參考文獻

1. 行政院公共工程委員會，「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」（2011.5）。
2. 新北市政府，「臺北都會區大眾捷運系統三鶯線暨周邊土地開發綜合規劃報告書」（2015.6）。
3. 三鶯線統包團隊（日立軌道交通號誌系統（股）有限公司／榮工工程股份有限公司／株式會社日立製作所），「三鶯線捷運系統計畫統包工程永續報告撰寫資料」（2022.8）。
4. 三鶯線統包團隊（日立軌道交通號誌系統（股）有限公司／榮工工程股份有限公司／株式會社日立製作所），「三鶯線捷運系統計畫統包工程電扶梯工程材料與設備資料型錄 0 版」（2024.1）。
5. 三鶯線統包團隊（日立軌道交通號誌系統（股）有限公司／榮工工程股份有限公司／株式會社日立製作所），「三鶯線捷運系統計畫統包工程車站站體空間隔熱、散熱措施說明」（2020.8）。
6. 三鶯線統包團隊（日立軌道交通號誌系統（股）有限公司／榮工工程股份有限公司／株式會社日立製作所），「三鶯線捷運系統計畫統包工程月台層旅客候車舒適度提升精進方案簡報」（2021.12）。

臺灣飛機維修公司 新二機棚設計經驗分享

關鍵詞 Keywords

- # 機棚設計 Hangar Design
- # 大跨距結構 Long Span Structure
- # 滑動大門 Sliding Hangar Door
- # 彈出式維修機坑 Pop-Up Maintenance Pits
- # 綠建築 Green Building
- # 航空維修設施 Aircraft Maintenance Facility

台灣世曦工程顧問股份有限公司 建築部

協理

江秉修

副理

王瑞

建築師

黃敏禎

機械部

正工程師

王德民

臺灣飛機維修股份有限公司 工程設施部

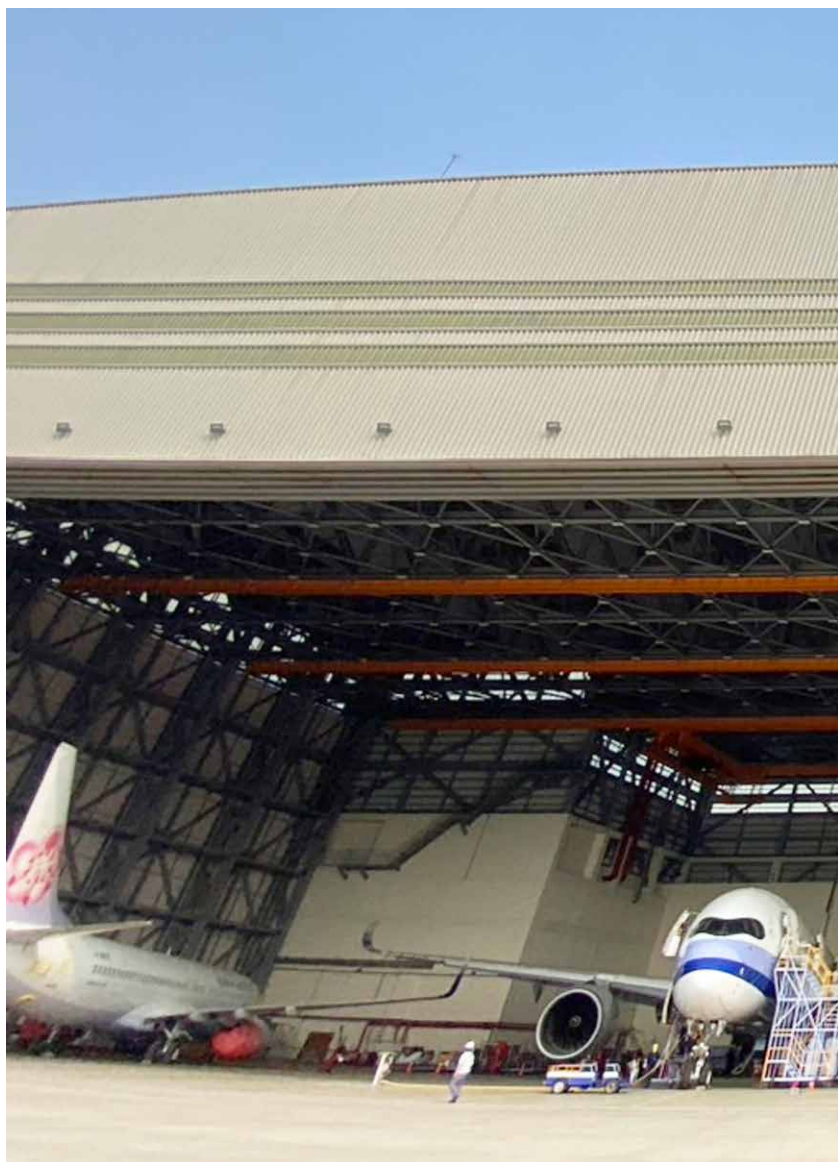
經理

楊攸碩

設施室

組長

孔德成



本案為華航於桃園機場的華航維修廠新建之「新二機棚」，已於 2019 年 3 月正式投入營運，以因應新世代寬體機 A350 與 B777 之維修需求。基地可同時容納 2 架寬體與 3 架窄體飛機，採用 177.5 公尺無柱鋼構，整合大跨桁架與 10 噸天車，展現高效作業彈性。

棚廠大門寬 165 公尺、高 23 公尺，分為 8 片滑動門扇，具備高抗風、防撞偵測、聲光警示與逃生門等多重安全機制。底屋區則提供後勤、倉儲、機艙設備檢修及行政訓練等功能。外觀轉譯飛行胸章意象，形塑航空識別。

建築獲綠建築合格級標章，導入高效隔熱、自然採光與無動力通風系統。另設置彈出式維修機坑（Pop-up Pit），整合 400Hz 供電、冷氣、壓縮空氣，平時與地面齊平，使用時可彈出操作，提升作業效率與地面安全，展現臺灣航空維修設施設計與工程整合之高水準。



壹、設計緣起

因應新世代寬體飛機（如 A350 與 B777）導入（圖 1），原有維修設施已無法滿足營運與檢修需求。華航公司於 2014 年成立「臺灣飛機修護公司」，並於原三機棚旁新

建「新二機棚」，自 2019 年 7 月啟用以來，不僅強化自有機隊維修彈性，更積極拓展亞太區 MRO（Maintenance, Repair and Overhaul）市場，提升修護品質並強化營運競爭力。



圖 1 B-777 及 A350 新世代寬體飛機

本案須同時滿足 FAA、EASA、Boeing/Airbus 等飛機維修技術規範，並建構可支援 A 至 D 等級檢修的新世代維修基地。基地位於桃園機場核心位置——華航維修廠內。周邊建物密集，基地緊鄰華航現有三機棚廠、華膳侍應品中心、引擎試車台與復興航空保稅庫，由於腹地十分狹小，且建物高度受限於機場飛航安全規定，對設計與施工皆構成挑戰，如全區配置圖（圖 2）。

本案設計重點包括：

- 一、可同時維修 2 架寬體與 3 架窄體飛機。
- 二、作業區需保留完整翼展空間。
- 三、強化人員與物流獨立動線，提升維修效率與整體安全性。
- 四、室內淨高至少 28 公尺。

以上詳圖 3、圖 4。



圖 2 臺灣飛機維修公司新二機棚全區配置圖

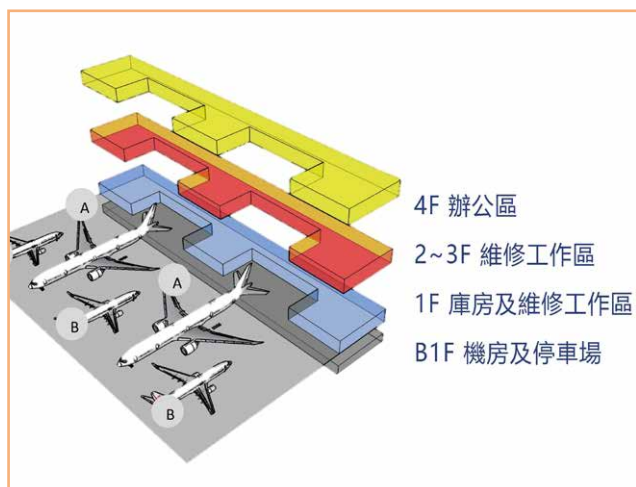


圖 3 機棚空間布局示意圖

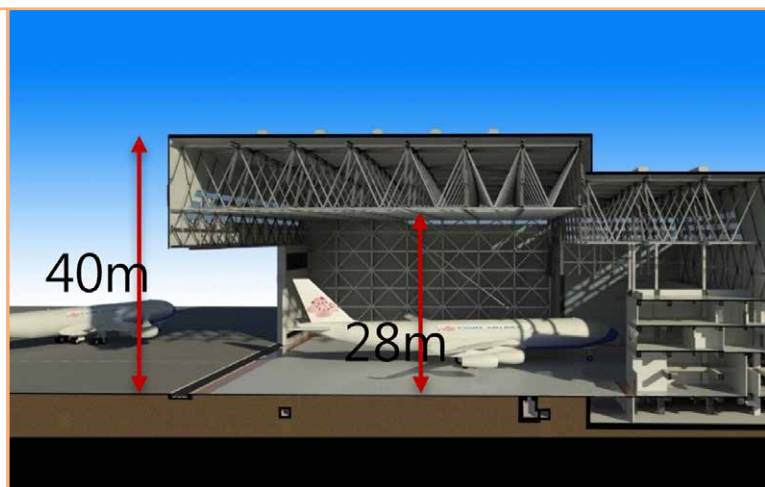


圖 4 淨高示意圖

貳、棚廠構造與空間配置

本案基地位於大園區中正段 67 地號等 5 筆，屬特定目的事業用地，基地總面積為 35,213.30 m^2 。新建建築面積為 19,045.90 m^2 ，法定建蔽率 60%，實設建蔽率 54.09%；法定容積率 180%，實設容積率 82.03%。總樓地板面積為 37,544.95 m^2 ，維修區為鋼骨構造挑高之大跨度空間，底屋區為地下一層、地上四層 RC 結構系統。

一、機棚維修區設計

維修區採用 177.5 米無柱鋼構，淨高 28 米，提升坪效並保留飛機翼展空間。尾朝斜放 (Tail-in) 配置可同時容納 2 架寬體機與 3 架窄體機。作業區採最小間距排布，設有 Service Pit (400Hz 電源、空壓、冷氣)，強化機務地勤作業便利性。抗彎地坪厚度超過 40 公分，足以承載重型地勤設備與維修車輛。屋頂設一組 10 噸級天車。(詳圖 5、圖 6、圖 7、圖 8)



圖 5 機棚維修區完工照片(鳥瞰)



圖 6 機棚維修區完工照片(人眼視角)

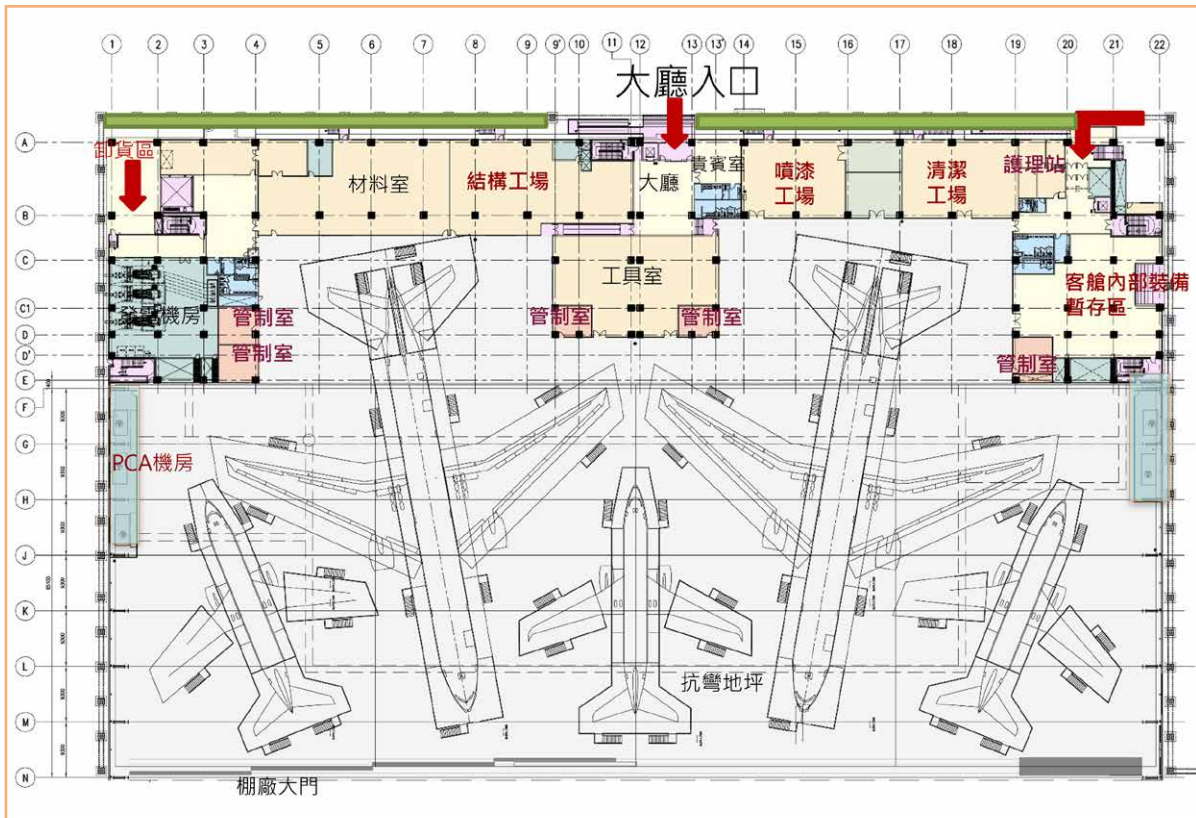


圖 7 機棚一層平面圖

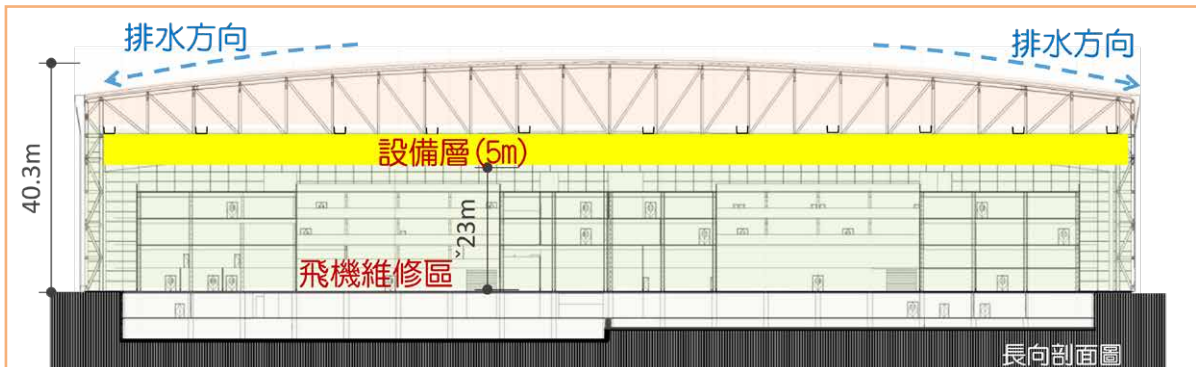


圖 8 飛機維修區剖面圖

二、底屋區設計

底屋區為地上四層、地下一層，規劃為機棚維修作業提供完整後勤支援：

(一) 地下層

設有消防儲水池、生活污水處理系統、主變電所與消防泵房，並配置員工與訪客停車場。

(二) 一樓

設有卸貨月台與物流集散區，配備 6.5 噸貨梯與堆高機轉運通道；並設置物料庫房與小型噴漆間，支援零件初步整修與塗裝作業。

(三) 二樓

規劃員工餐廳，滿足作業人員生活機能需求。

(四) 三樓

為機艙設備維修區，設有座艙椅翻修、電子零組件檢測、焊接與結構修補等空間，並具備獨立通風、照明與防塵設備，符合精密作業環境條件。

(五) 四樓

設置辦公室、會議室與訓練教室，提供行政管理、技術培訓與合作單位交流用途。以上空間規劃詳圖 9。

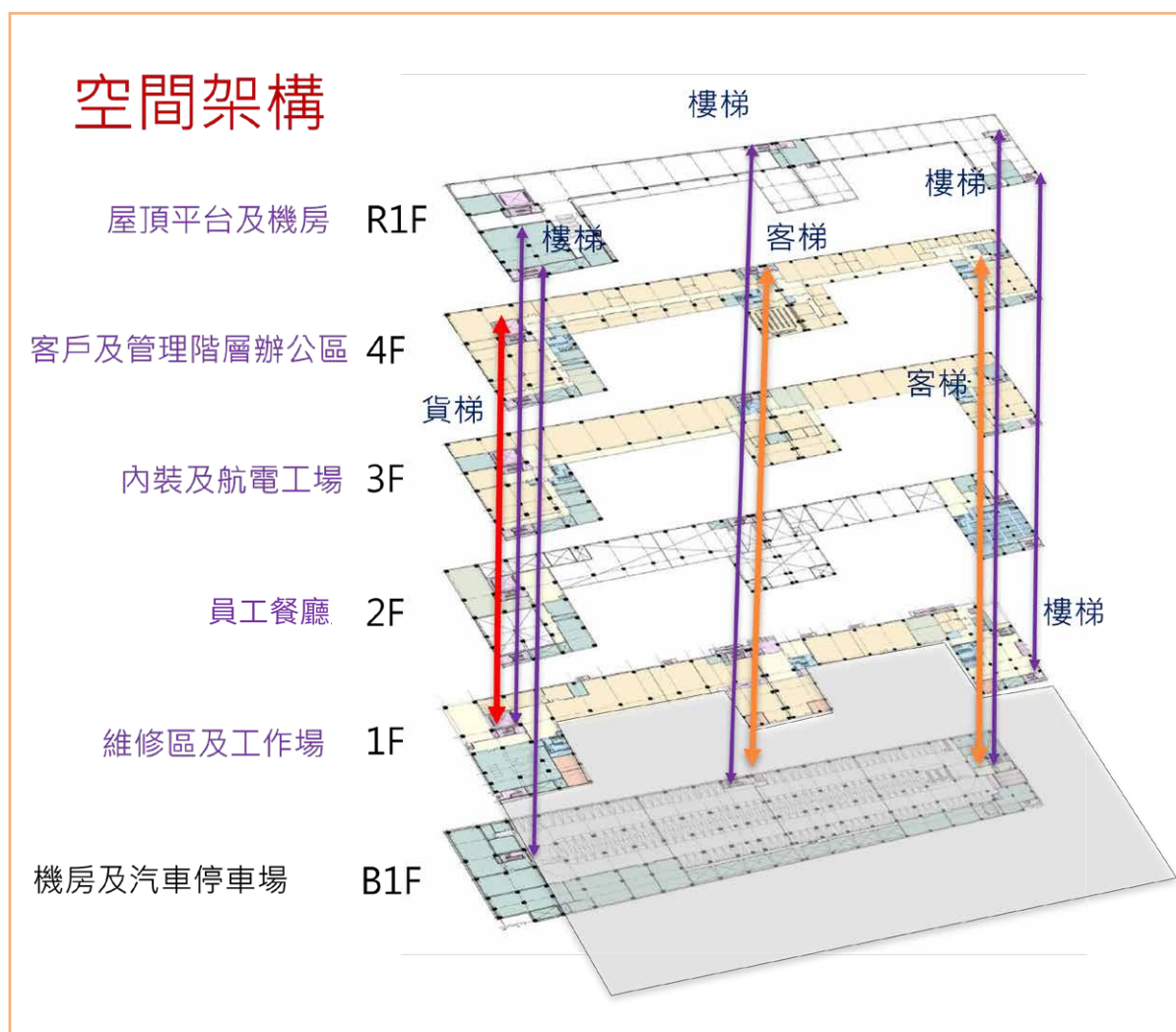


圖 9 底屋區各樓層分布圖

參、建築意象與立面語彙

本案立面設計以「飛行胸章」為主要語彙，將航空意象融入建築美學。透過抽象轉譯飛行胸章的構圖元素，延伸出橫向展翼與對稱幾何的外觀構成，並融入水平窗

帶與垂直百葉，塑造象徵飛行與動能的視覺印象。主立面藉由高反差材質，搭配淺灰與銀白配色，展現航空機械語言；側向立面採用 ALC 輕質牆板作為牆體，結構簡潔且便於安裝，與主立面形式語彙相互呼

應，呈現統一的整體建築形象。立面設計強調技術性、效率性與機能整合，呼應機棚作業特性。圖 10 及圖 11 正立面完工照

片，圖 12 實體模型，可以看到機棚四向立面全貌。



圖 10 機棚正立面完工照片



圖 11 機棚正立面完工照片



圖 12 機棚實體模型照片

肆、綠建築設計與節能策略

一、建築外殼節能設計

本案屋頂採用雙層彩色鋼板，內層填充防火岩棉，熱傳導係數約 0.033 到 $0.04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，具高隔熱與耐火性，有效強化建築節能表現。圖 13 呈現現場雙層彩色鋼板加工及鋪設防火岩棉過程。

二、導入自然採光與通風設計

棚廠維修區與底屋作業區全面引入自然光，採光面積覆蓋率達 85% ，有效降低白天照明依賴。屋頂通風器採無動力設計，利用熱浮力與煙囪效應排除熱氣，並導入

FRP 與導光構件，同時達到通風與採光雙重功能，提升作業舒適性與能源效率。另一設計亮點是屋頂通風器設於建築高處，利用熱浮力與風壓效應自然排除高溫熱氣，吸引底層冷空氣上升對流，無需電力驅動即可達到全年節能。通風器內部採透明 FRP 或 PC 材料，作為導光板與遮陽葉片，可將自然光導入深層空間，避免眩光並控制熱輻射（詳圖 14）。

三、綠建築標章合格級取分項目

本案依《綠建築評估手冊－廠房類（2015 年版）》進行評定，取得「合格級」綠建築標章，主要取分項目如下：

(一) 節能類

外殼採高反射屋頂與隔熱牆體，空調採變頻多聯機與分區控制設計，照明全面導入高效 LED 燈具，全面降低能耗。

(二) 綠色交通類

基地內設有一般及無障礙汽車位，並提供公共載具服務，提升交通便利性與永續通勤支持。

(三) 水資源類

設置雨水回收系統與節水器具，並搭配污

水分流排放設施，落實水資源再利用。

(四) 廢棄物處理類

配置垃圾分類與暫存空間，支援後端資源回收與清運管理。

(五) 健康與舒適類

採光與通風系統設計完善，廠房設有常駐合格醫療人員、提供專用運動休閒設施，定期舉辦戶外旅遊及休閒活動、健康講座。

- 屋頂板採彩色金屬鋼板為單片 180 公尺一體成形。
- 材料有單層彩鋼牆面板 TH=0.8mm、FRP 採光板、牆面彩鋼收邊板。TH=0.8mm、雙層絞合式高浪深防火屋面板。
- 具有屋頂隔熱及降低棚廠室內溫度效果。



圖 13 機棚區雙層彩色鋼板施工照片

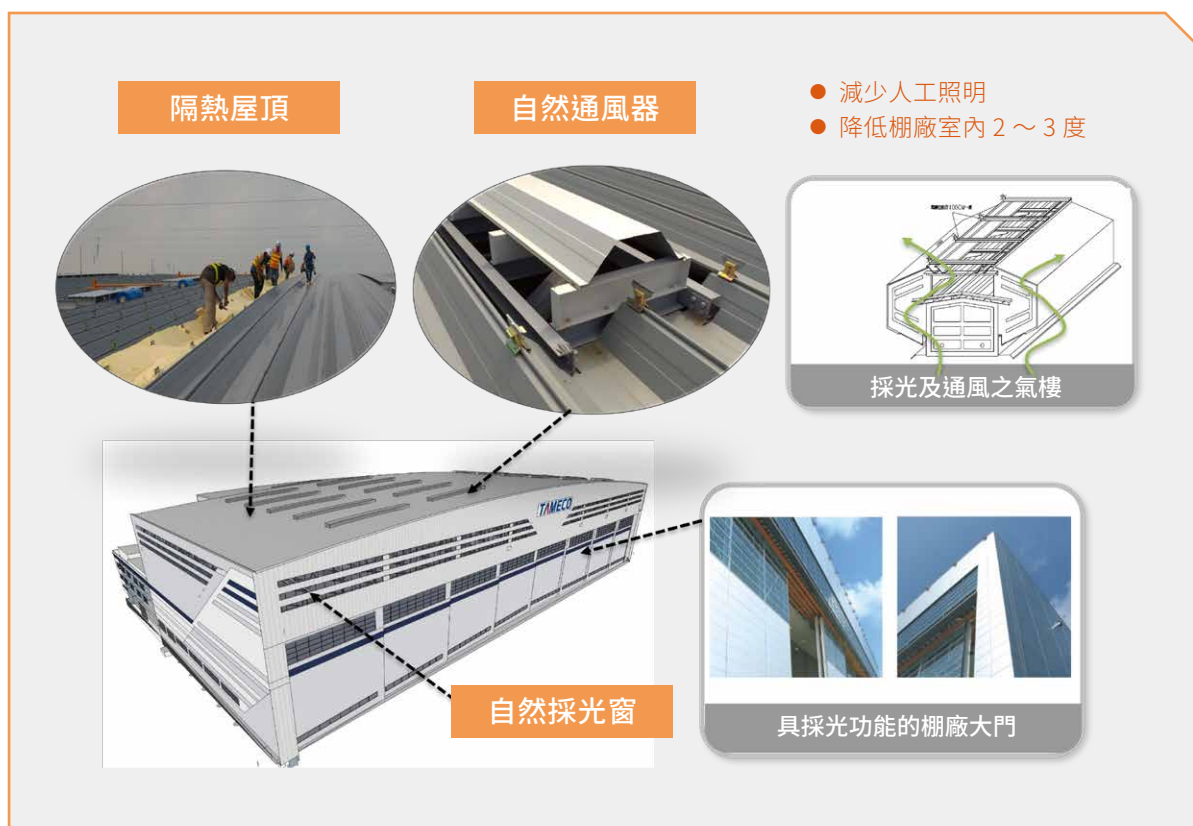


圖 14 機棚屋頂導入自然採光與通風設計

伍、棚廠大門

本棚廠大門總寬 165 公尺、淨高 23 公尺，由左右各 4 片、共計 8 片滑動門扇構成，採對向橫向滑動設計，具備高抗風、防撞偵測、聲光警示、逃生門等多重安全機制（圖 15、16）。

1. 構造與材料

（一）門扇每片厚 550mm，高達 27.5m，單片重量約 18 噸。

（二）採用鋼構主體，表面覆以彩色鋼板，螺栓經防蝕處理，符合 AS4100 結構設計標準。

2. 驅動與操作

（一）每片門配有獨立驅動系統，具雙速切換與無段變速功能。

（二）系統配備扭矩限制器、手動離合器及模組化設計，可應對停電或維修情況。

（三）導輪組可吸收屋頂撓度（最大偏差 150mm），保持門體穩定運行。

3. 安全與警示

（一）移動時自動啟動蜂鳴與閃光警示，提升人員作業安全。

(二) 配備雷達 / 紅外線防撞系統與限位開關，遇障礙自動降速，門底設橡膠緩衝與高辨識條紋。

(三) 防誤操作機制含控制切換鎖與緊急停止按鈕，強化操作安全。

4. 設計亮點

(一) 抗風能力強，門體設計可抵抗風速

37.5 m/s 的風壓，搭配容許撓度設計防止干涉。

(二) 節能採光：門體嵌有 PC 板自然採光窗，減少白天照明負荷。

(三) 逃生設計：每門設置內建逃生門與緊急標示燈，確保災害應變能力。



圖 15 機棚大門完工外觀照片

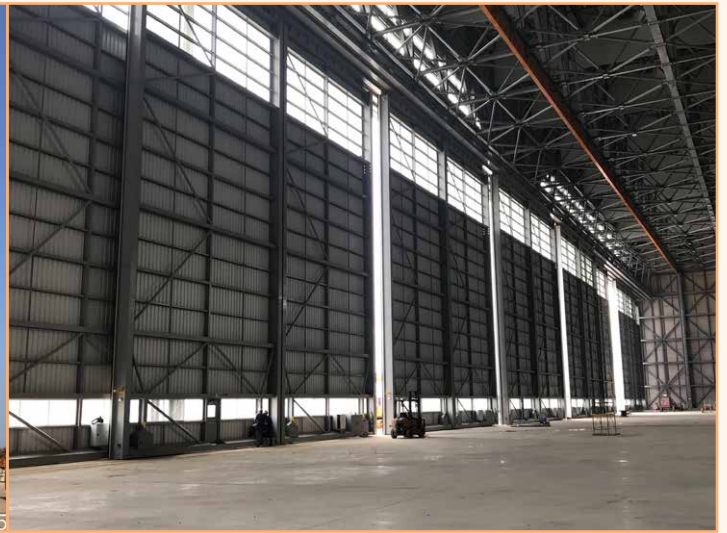


圖 16 機棚大門完工室內照片

陸、大跨度結構系統

一、大跨度設計之挑戰

新二機棚採用大跨度結構系統，堪稱臺灣現代航空產業大型機棚工程的指標作品，無論在工程規模、設計難度、施工創新、結構安全或營運彈性上，均展現結構高端技術。該系統超越過往國內外機棚常見的設計侷限，採單跨門型鋼桁架，縱向間距採 9.3m，單跨跨度達 177.5m；屋頂採弧

面主桁架梁深為 6.7m~12m，桁架柱深為 2.5 m，以獲得較經濟之斷面及較佳之結構勁度。屋頂桁架空間設置 1 部 10T 天車懸吊於屋頂桁架下弦。基礎採樁基以確保基礎穩定性，維修機棚結構立面圖（圖 17）及結構平立面示意圖（圖 18）。

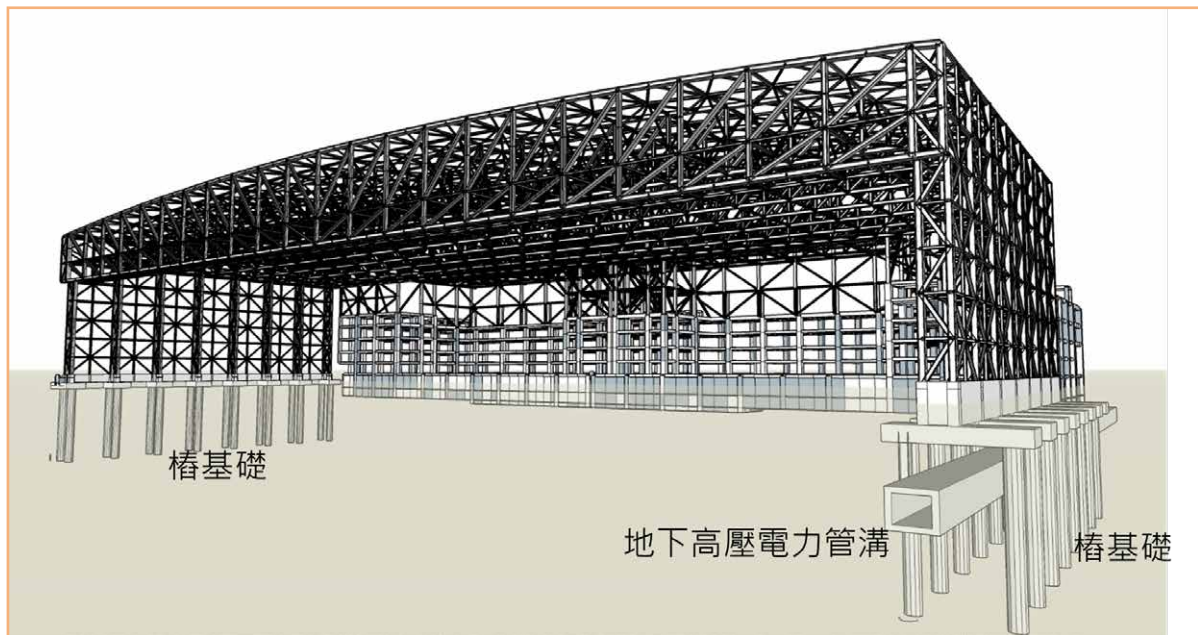


圖 17 維修機棚結構立面圖

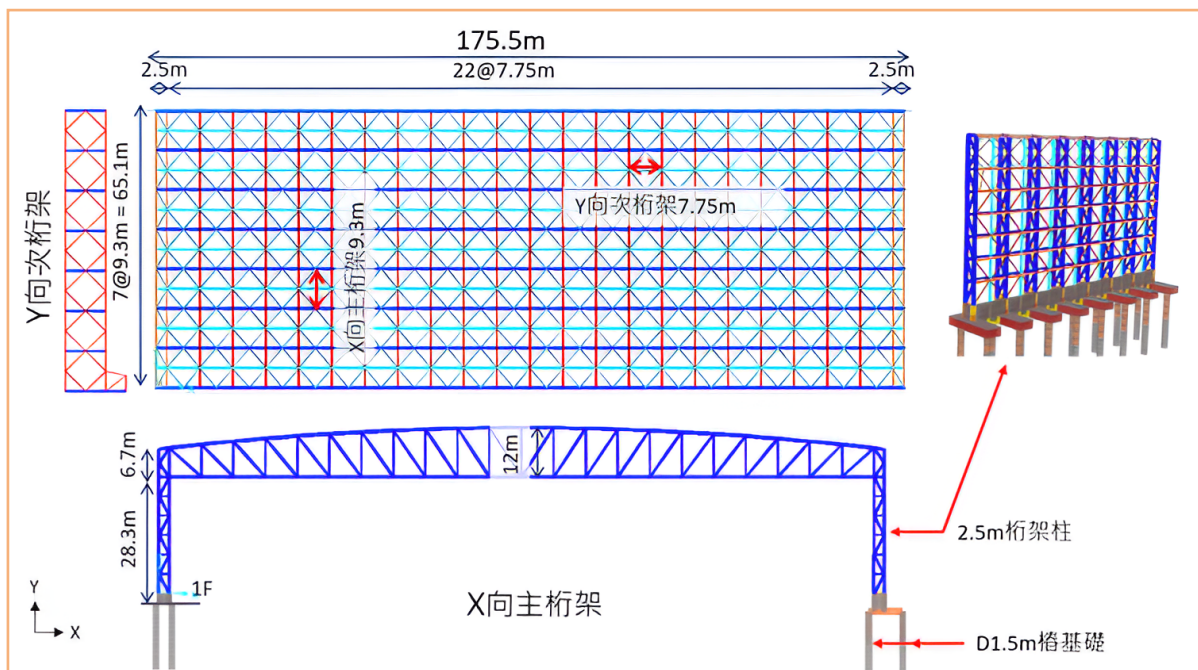


圖 18 維修機棚結構平立面示意圖

二、結構系統與桁架設計

系統架構與荷載分布：

(一) X 向（長向）

採用特殊鋼桁架抗彎構架，韌性容量 $R_x=4.0$ ，抵抗主跨重載與地震剪力，連接主體空間與載重分擔。

(二) Y 向（短向）

以鋼造特殊同心斜撐設計，韌性容量 $R_y=3.6$ ，有效分散側震與強風橫向推力，

符合機場建築物耐風設計相關規定。

(三) 主桁架與副桁架

主要鋼材為 SN490 等級高強度鋼。主弦材最大斷面 H-600x600mm，垂直與斜材 H-350~428mm。副桁架（每 7.75m 佈設）用於強化設備層、吊掛平台、高密度管線支撐。

維修機棚結構風力及地震力等載重分布示意圖（圖 19），維修棚結構各項風力變位示意圖（圖 20）。

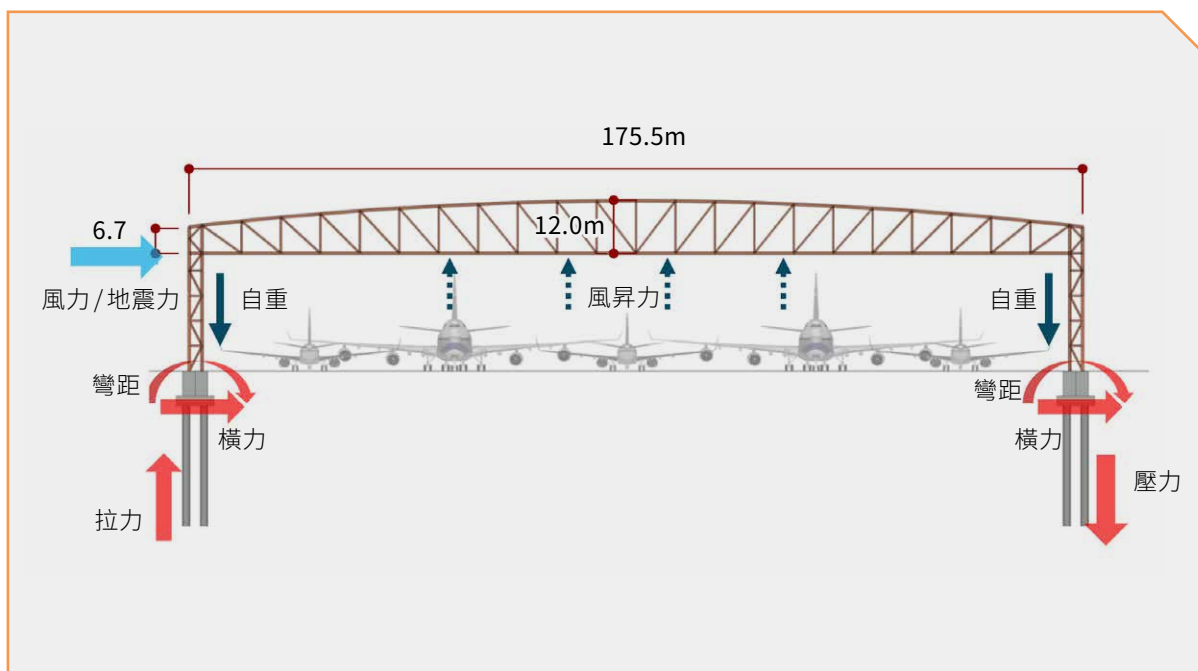


圖 19 維修機棚結構載重分布示意圖

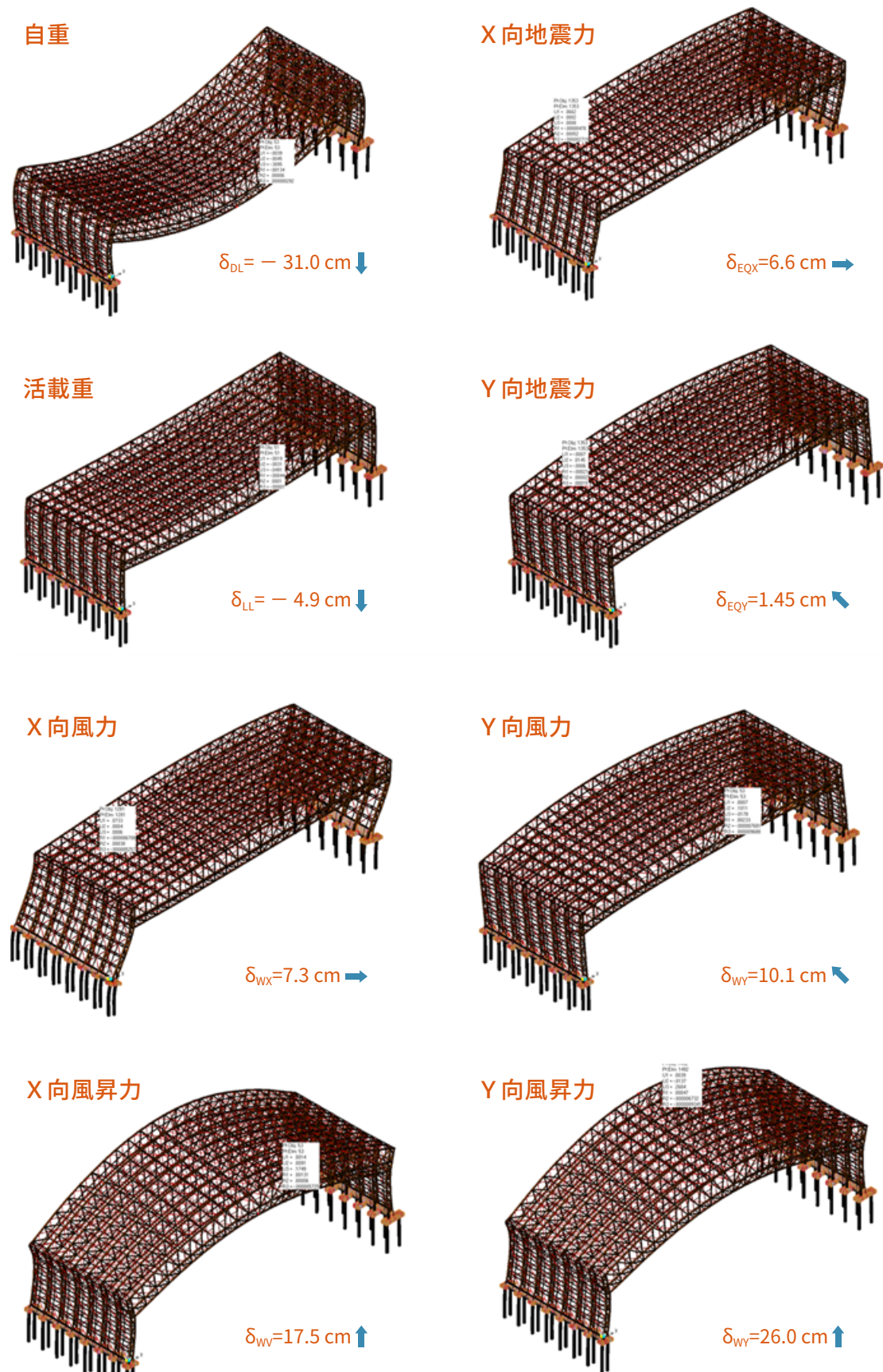


圖 20 維修機棚結構各向風力變位示意圖

三、屋頂預組裝與結構升級

所有主桁架、機電及管線裝置於地面一體化預組裝，經檢驗後，透過同步油壓頂升工法，將數百噸結構升至 37.4m 定位。此作法避免高空複雜焊接，施工精度高，並替代過去高空分段吊掛工法，使全案工期縮短逾 115 天，同時提升流程安全與品質。

四、基礎設計與場址調適

主結構下為大型 RC 樁基礎——樁徑 150cm、長 16~18m。樁帽厚 1.2m 以上，大跨徑屋頂支撐柱採桁架柱，柱深為 2.5 m，其底部柱腳固定方式採埋入式。基礎採樁基礎。確保荷重平衡分配且不影響東側 11.4kV 電力管、消防暗管等基地既有設施。基樁彈簧模擬 Kv 達 24600 t/m，樁帽局部補強設計，滿足地震拉拔力與工期短時間高品質需求，機棚基礎及樁帽模擬示意圖（圖 21）。

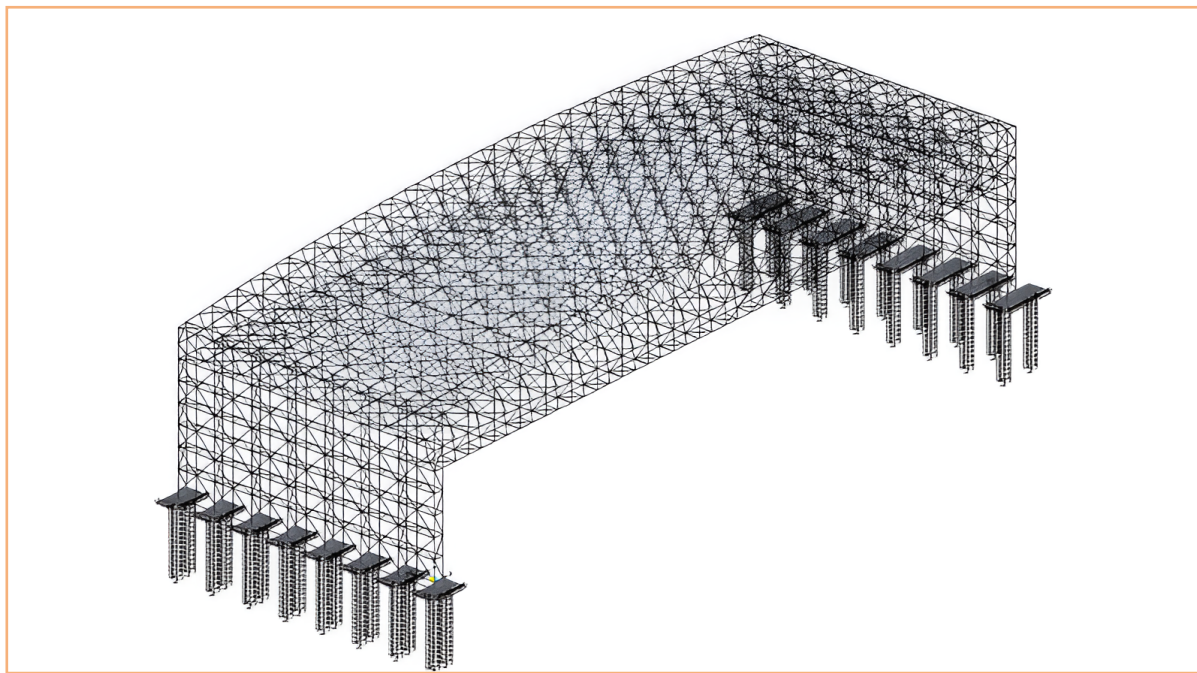


圖 21 維修機棚基礎及樁帽模擬示意圖

五、特殊接頭分析及設計檢核

本案結構梁柱接頭 H 型鋼、圓管接合型式及角度複雜，包括 K 型、T 型與 X 型接頭均有（圖 22~24），因圓管斜撐接頭可承受

應力較低，所以桿件之主要應力常無法如一般 H 型桿件分拆，故需進行有限元素檢核，以使桿件本身及接合部位皆符合設計規範規定。

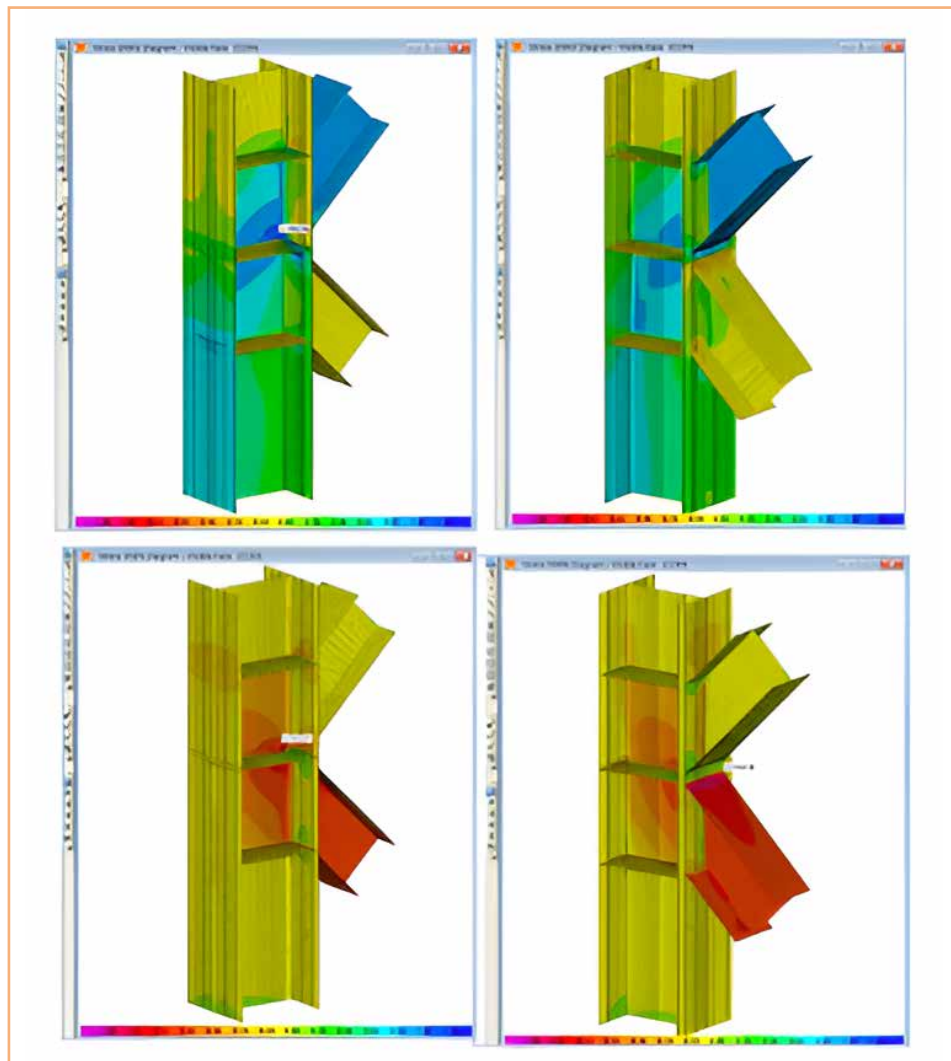


圖 22 特殊柱接頭應力分布圖

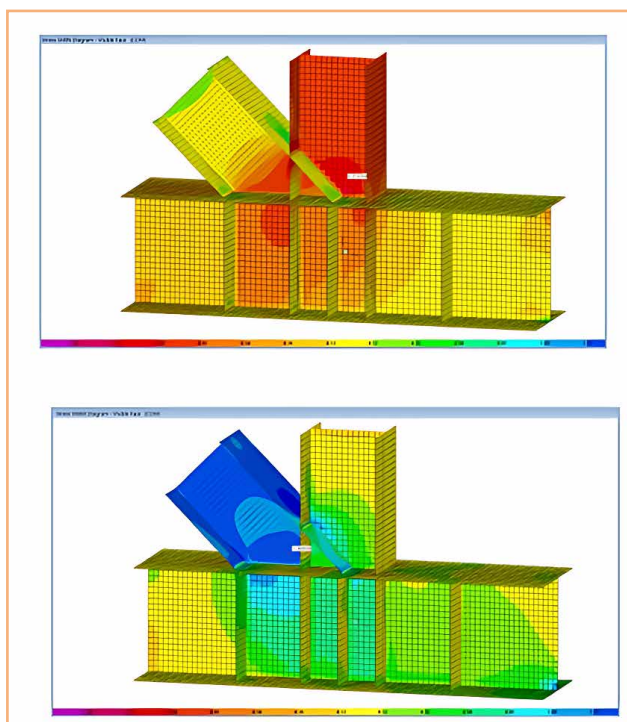


圖 23 特殊桁架接頭應力分布圖

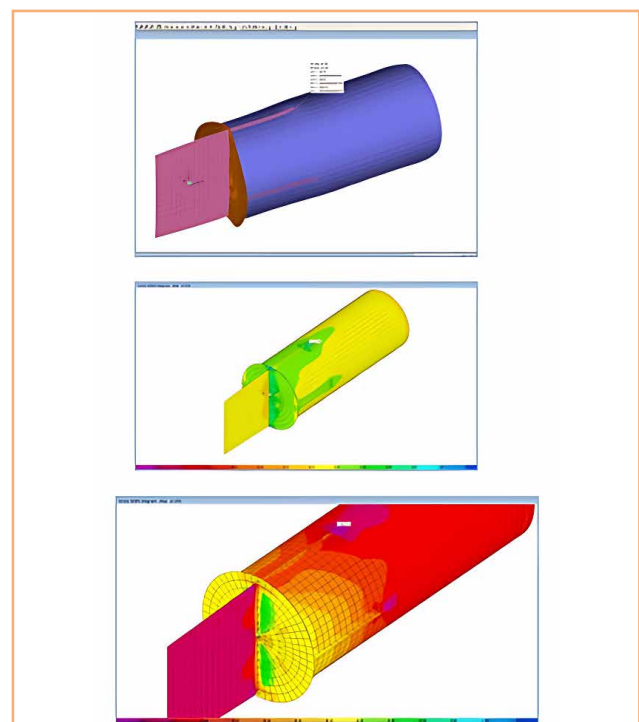


圖 24 特殊圓管斜撐接頭應力分布圖

柒、新世代維修機坑 (Service Pit)

飛機維修棚廠設置之維修機坑用於提供棚內飛機維修所需地面服務，包括電力、空調（冷氣）、壓縮空氣等。機坑平時與地面齊平，使用時可彈出操作，採用新型彈出式

(Pop-up Pit) 設計，利用配重平衡原理，取代傳統固定嵌入式（Flush Pit）型式，提升作業效率與安全性（圖 25）。

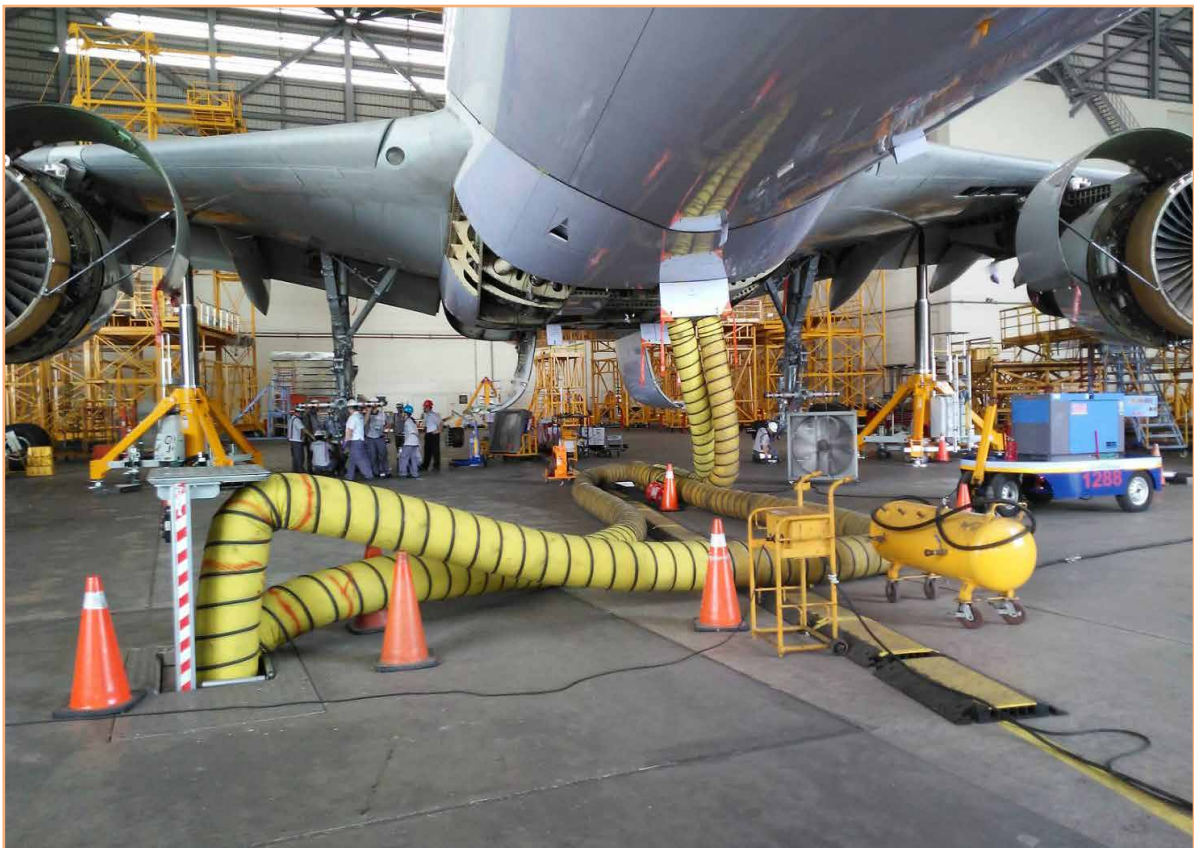


圖 25 維修機坑完工使用中照片

主要功能與配備：

一、公用設施整合

（一）供電系統：提供 400Hz 機艙電力與 115V-AC 維修電力，設有國際標準接頭、防爆終端盒與電纜引導器（圖 26）。

（二）空調系統：配置 PCA 軟管與轉接器，具引導裝置與可伸縮收納籃，防止水氣與菌類滋生。

（三）壓縮空氣：具 1/2 至 1 吋快速接頭與三點式調壓系統，含引導裝置利於作業（圖 27）。



圖 26 地面電源 400Hz 接頭 (GPU)



圖 27 地面壓縮空氣快速接頭

二、結構與安全設計

(一) 機坑蓋板採止滑鋼板，強度符合 EN124-F900 國際標準，承重達 90MT。

(二) 機構設有腳踏式鎖定裝置，確保使用中固定穩定。

(三) 機坑具備防腐蝕、防滑、防積水、防墜落與防砂積水設計，結構安全可靠。

三、系統優勢

(一) 有效整合纜線與軟管，提升地面作業安全。

(二) 簡化視覺環境，維持維修區整潔。

(三) 提供快速連線、高效率維修作業，展現先進機棚設計品質。

捌、結語

新二機棚不僅回應次世代寬體機維修需求，更重新定義臺灣航空維修設施的技術標竿。其 177.5 公尺超大跨距無柱空間、整合型滑動大門與彈出式維修機坑，展現結構創新與工藝整合之極限。從功能配置到綠建築導入，均體現高效、永續、智慧的設計理念。預組裝與油壓頂升等施工工法，更大幅縮短工期並提升品質穩定性。本案為我國航空產業現代化升級注入關鍵動能，亦提供大型機棚設計之具體實踐參照，立下融合工程技術、營運效率與環境思維的嶄新典範。

郵輪旅運服務設施設計—— 以澎湖馬公及龍門尖山為例

關鍵詞 Keywords

- # 旅運中心 Passenger Terminal
- # 通關查驗 Customs and Immigration Inspection
- # 地景建築 Landscape Architecture

台灣世曦工程顧問股份有限公司
建築部

副理、建築師

江堅龍

建築師

黃敏禎

建築師

謝明倫

建築師

張益豐

工程師

劉靖亭



澎湖港於「藍色公路十年整體發展規劃」中定位為郵輪跳島示範港，需同時支援國際郵輪靠泊與國內航線客運。馬公郵輪旅運中心在基地腹地有限、淡旺季差異明顯、交通影響與意象整合等條件下，透過量體分層、人車分流、CIQS 彈性配置與觀光休憩空間導入，完成符合作業需求，且具識別性的旅運設施。龍門尖山旅運中心則在外島施工與經費限制前提下，採單層量體、模組化工法及居民參與之立面設計，以既定預算條件，維持服務水準。兩案皆展現離島旅運設施，須同時考量旅運機能量，面對尖峰、淡季狀況、基地限制、離島施工能量、營運規劃上的挑戰與對策。



壹、馬公旅運中心設計經驗分享

一、緣起

澎湖馬公港長期承擔國際郵輪與國內航線之旅運功能，為離島主要交通門戶。依行政院「國內商港未來發展及建設計畫（111～115年）」及交通部「藍色公路十年整體發展規劃（110～119年）」，馬公

港被指定為郵輪跳島示範港，須提供 7.5 萬總噸級以下郵輪靠泊能力與完整 CIQS 查驗設施。設計目標除應對旺季旅客高峰，亦須於淡季維持設施使用效能，據此訂定「多功能配置」與「彈性運用」之設計準則。本案已發包施工，預計在 2026 年第四季完工。



圖 1 馬公旅運中心基地位置

二、基地條件與動線規劃

馬公旅運中心的基地位置位於澎湖縣馬公市港區內，一號碼頭後線腹地，其地理位置鄰近馬公港旅客服務中心與市區接駁幹道，並直接面向郵輪可泊靠之碼頭岸線（圖 1）。本案基地腹地有限，須同時容納 CIQS 查驗空間、旅客服務設施、觀光商業

機能與交通轉運配置，是規劃初期的主要挑戰。加以馬公市區周邊街廓狹窄，碼頭靠泊與陸域載運同時進行，易造成交通壓力，如何在有限基地內實現高強度轉運功能，為動線配置與量體控制之首要課題。



圖 2 馬公旅運中心全區配置

基地位於一號碼頭後線，用地 26,056m²，屬港埠專用分區。都市計畫檢討結果：建蔽率 54.75%、容積率 181.3%。交通配置以郵輪靠泊高峰為設計基準。單次旅客可逾 1,500 人，與國內航線同時到港時腹地壓力顯著。旅運設施配置經精算，充分滿足大客車、小客車、機車與無障礙需求，車道寬度須符合相關設計規範，並採人車分流設計，有效提升通行安全與效率。旅客動線由碼頭進入查驗區，完成 CIQS 程序後銜接接駁系統通往市區與觀光景點，流線順暢，動線清晰，並有效降低交錯與壅塞風險（圖 2）。

三、建築構造與空間配置

建築總樓地板面積為 4,870.57m²，為地

上三層之鋼筋混凝土建築。建築量體依據空間使用特性垂直分層，以通關、行政與觀光功能分別配置於各樓層，確保動線順暢並便於彈性調整。有關旅運中心基本空間需求，係參考 TRB 運輸容量及服務等級手冊規範（Transit Capacity and Quality of Service Manual）之規定估算。考量靠港郵輪出境旅客並無託運行李需求，故等候排隊區以 C 級基本服務水準（1.4m²/人）估算空間，至少約需 515m²（=736×50%×1.4），而候船空間，以 C 級基本服務水準（0.7m²/人）估算空間，則至少約需 258m²（=736×50%×0.7）。但仍考量旅客一次性報到可能及國內客運空間需求，「等候及排隊區」設定為約 600m²，而「候船空間」設定為約 420m²。

一樓為主要旅客服務與 CIQS 查驗層，面積 2,156.98 m²，設有報到大廳、入出境查驗、檢疫區、安全檢查區與候船大廳，挑高 6.6 公尺（圖 3），以容納郵輪旅客流量並維持操作效率（圖 4）。二樓為設備與行政層，面積 553.69 m²，設置控制室、辦公區與設備空間，支援設施維運與管理作業。三樓為商業與觀景層，面積 2,159.90 m²，配置免稅店、餐飲、文創展示、哺集乳室與無障礙親子設施，並設有面海觀景平台，可供候船、觀賞煙火或舉辦文化活動之用（圖 5）。

通關動線依 CIQS 程序規劃，旅客自碼頭進入報到區後，依序完成入境查驗、檢疫、安全檢查與行李提領，再進入接駁動線離港。出境旅客則自報到櫃檯辦理程序後，進入查驗區與候船區，動線全程不交叉並具方向引導性。因應淡旺季調度，部分 CIQS 空間設有隔間轉換機制，可作為展覽、講座、會議或市集場地使用，提升整體空間使用彈性與設施效益。



圖 3 剖面圖

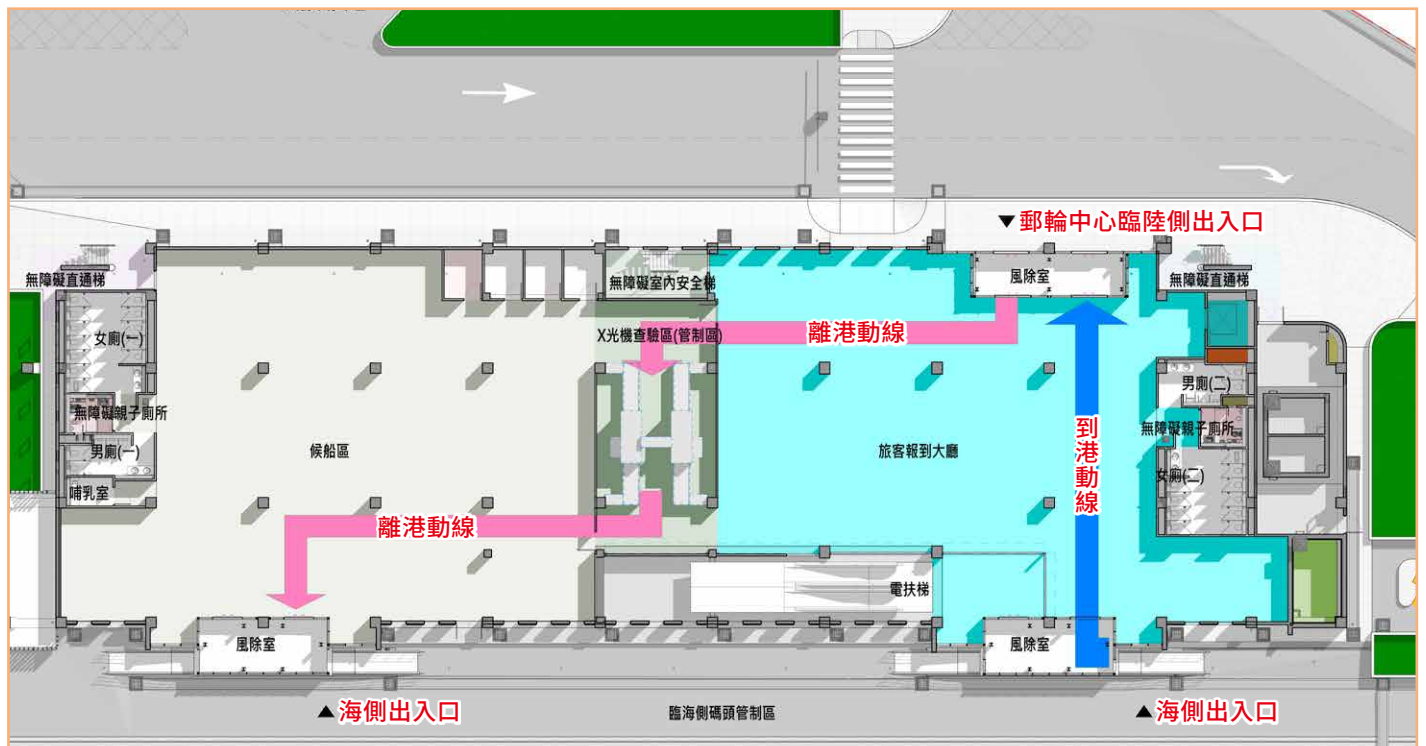


圖 4 一層平面圖

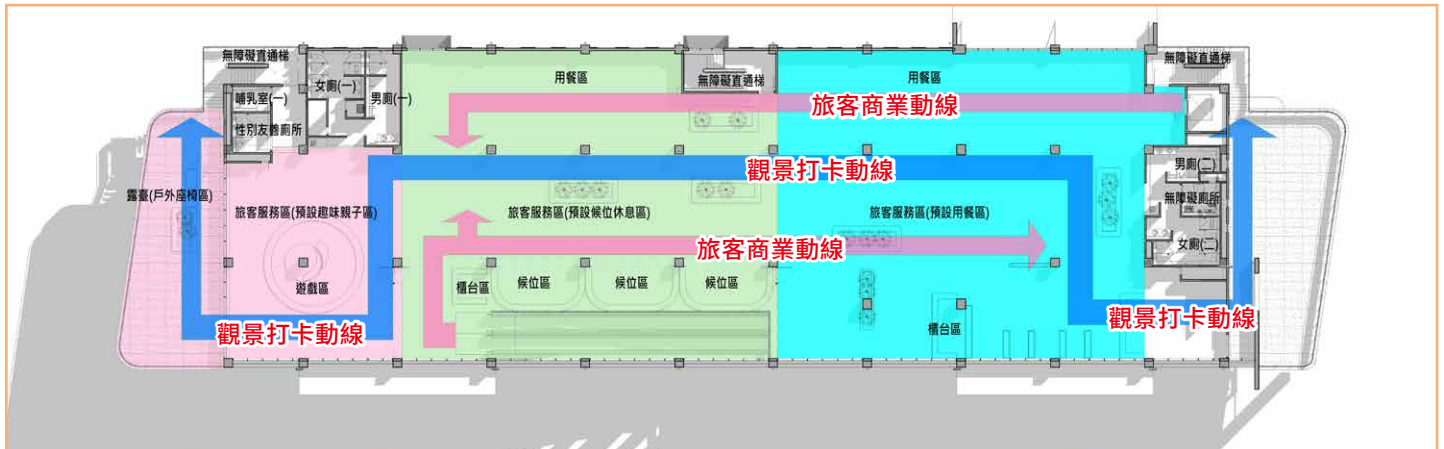


圖 5 三層平面圖

四、建築意象與立面設計

建築量體以雙坡斜屋頂構成，造型源自船影交織之意象，呼應澎湖群島作為航海樞紐之歷史語境。斜屋頂自對角中心軸展開，立面整合三層水平機能，使量體展現一致之動態張力（圖 6）。整體設計以「船影交錯、浪柱並立」為核心意象，呼應澎湖作為海上門戶之歷史定位（圖 7、8）。屋頂採用耐候性塗裝系統處理，具備良好之抗風蝕與耐久性能，適應海港環境中常見之高濕、高鹽與強紫外線條件。斜屋面自中央軸線向兩側展開，構成連續而穩定之

量體語彙，形象如萬船交織的剪影，與建築水平展開之機能空間相呼應，在視覺上營造出具自明性之入口意象。

沿臨海面之出挑平台，挑高設計兼具遮陽與觀景功能。平台面向海灣，旅客於候船時可遠眺出航郵輪與跨海大橋夜景，亦為每年煙火節最佳觀賞位置，兼顧營運與觀光效益。立面大量採用通透玻璃帷幕，強化自然採光與內外視覺穿透性，旅客可自大廳直接望見碼頭與停泊區，形塑開放親和的公共形象（圖 9、10）。外牆基座採仿玄武岩肌理塗裝，象徵澎湖地景紋理。

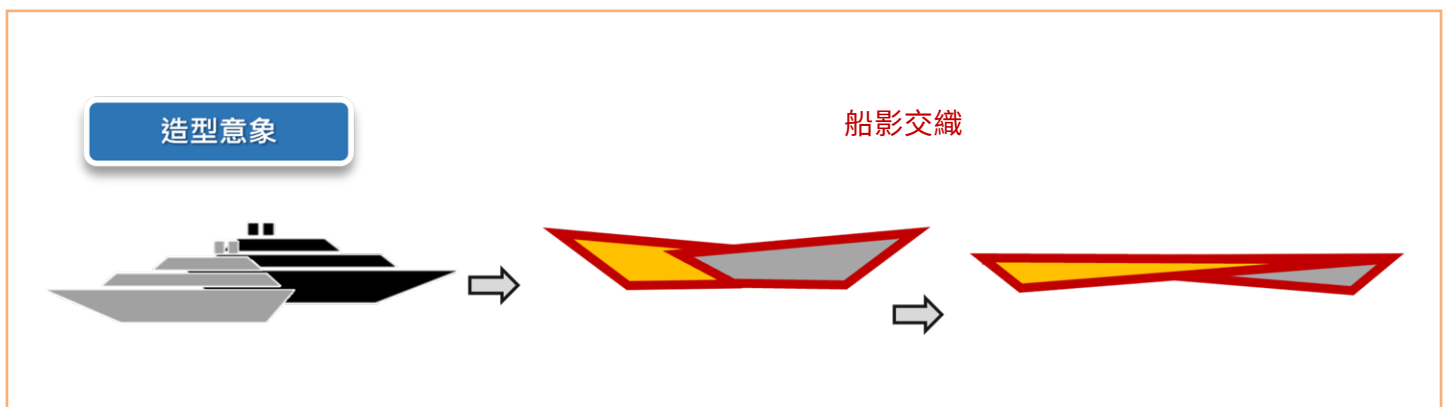


圖 6 船影交織之建築意象



圖 7 臨海側立面圖



圖 8 陸側立面圖



圖 9 全區鳥瞰透視圖



圖 10 全區鳥瞰透視圖

五、挑戰與策略

設計團隊針對此一條件採取多項設計策略，包括：通關與觀光機能之垂直分層、旅客動線與車流動線之完整分離、CIQS 空間之可轉換隔間與通透化設計等，使設施在平日亦可靈活轉為展演、集會、觀光等使用場域，維持建築全年活化與投資效益之平衡，實現港區設施使用密度之提升與營運負擔之降低。施工期間仍需維持碼頭營運，且受限於既有交通動線及港區作業時程，施工調度複雜，設計上須考量模組化構件與分階段施工流程，以減少對現場操作之干擾。港區環境亦具有強風、鹽害與高日照等條件，建築構造與設備設計須具備高度耐久性與易維護性。

貳、龍門尖山旅運中心設計經驗分享

一、計畫背景與角色定位

龍門尖山碼頭旅運中心位於澎湖本島東南

側，原為以貨運作業為主之港區，因應地方觀光政策轉型與交通部「藍色公路十年整體發展規劃」之推動，自 2017 年起試辦設置臨時旅客服務中心，逐漸轉型為馬公港之輔助旅運樞紐。本案納入「國內商港未來發展及建設計畫（111～115 年）」，擔負旅遊旺季疏解馬公主港負載壓力的任務，並提升整體藍色公路服務效率。

儘管規模有限，龍門尖山仍需同時兼顧國內旅運、轉運接駁、旅客休憩、交通銜接與觀光展示等多元機能。其設計策略核心即為「以單層集中量體，達成最大機能整合，並以模組化與工法效率對應預算限制」，展現離島設施在資源受限情境下的設計智慧。

二、基地條件與整體規劃

基地位於 #2 碼頭後線，土地使用面積約 3,675 m²，原為露置場與已鋪設混凝土的場區（圖 11）。

二龍門尖山碼頭區 #1 碼頭現況設有一處臨時旅客服務中心，位於 #1 碼頭後線鄰近 #2 碼頭銜接處，另將 #2 碼頭東側 50m 岸線後方之露置場約 3,675m² 改作為旅客候船區，供客運接駁車輛臨停及旅客臨時候船區使用，且現況 #2 碼頭後線已完成鋪面設置，故該區可作為停車場使用。設計上需整合既有鋪面、既有臨時候船設施與港區交通系統，並考量風載、日照、鹽害與施工資源運補之現實條件。建築平面為長 52 公尺、寬 18.5 公尺之矩形量體，朝向碼頭與岸際展開，並於主入口設置臨停區域，配置遮陽雨庇，改善進出便利性（圖 12）。為最大限度發揮單層基地之效能，建築體內部空間採線性配置，動線清晰：由報到大廳至安全檢查區、候船室，再通往下船動線與碼頭區，所有旅客動線採分流設計並設有指標系統，強化場域識別性與操作彈性。

三、建築構造與空間配置

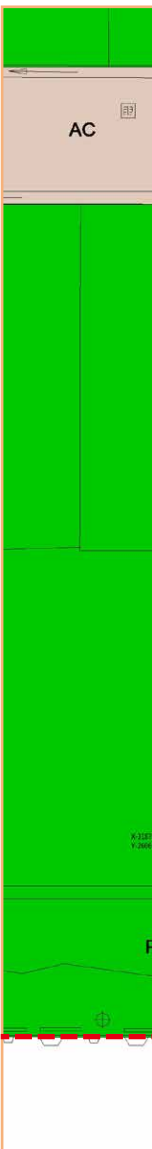
旅運中心總樓地板面積為 1,294.23 m²，樓高為 6.95 公尺。有關旅運中心基本空間需求，初步參考 TRB 運輸容量及服務等級手冊規範（Transit Capacity and Quality of Service Manual）之規定估算。等候排隊區與候船室之服務水準以 C 級基本服務水準估算（分別為 1.4 人 /m²、0.7 人 /m²，一般國內客輪旅客上下船時，係自行攜帶行李，故等候排隊區所需面積大於候船室面積）「等候及排隊區」、「候船空間」分別至少約需 280m²（=400×50%×1.4）、140m²（=400×50%×0.7），本案報到大廳及候船室面積大小分別為 295m² 及 157m²，符合上述計算之結果。主空間配

置包括報到櫃檯、售票區、候船區、行李提領區、哺集乳室、無障礙廁所與親子設施等，並以 TRB《Transit Capacity and Quality of Service Manual》為依據，設定排隊區與候船空間之服務等級均達 C 級以上。出境規劃為旅客首先抵達的入口報到區，大廳設有團體售票櫃台及充電站。完成報到後，進入 X 光檢查區，最後進到候船區，詳圖 13 所示。入境規劃相較單純，旅客抵達後直接穿過候船室，再前往陸側雨庇下方搭車，詳圖 14 所示。本棟機房集中設置於檢驗區上方，並於海側設計大面玻璃，提供開闊港區視野。服務設施如廁所設置於建築物左右兩側，可就近提供服務，其空間配置與動線，詳圖 13 所示。

四、建築意象與立面語彙

建築設計採用在地參與機制進行初步概念發想，經由與社區居民多次溝通會議，確立以「郵輪破浪」、「鼓浪迎風」作為設計意象核心。量體造型以傾斜牆面構成動態線條，象徵船艦破浪前行之姿，呈現方向性與律動感。屋簷大幅出挑，構成港區鮮明之遮蔽與節能效果，同時提供遮陽與遮雨功能，形塑半戶外人行廊道，提升旅客舒適度與安全性。

立面材質選用具高耐候性之仿清水模飾材與塗裝系統，色彩以淺灰白為主調，搭配木質暖色系局部點綴，營造親切人文尺度，亦對應澎湖岩岸、鼓浪風潮與海風色調。造型上亦融入貨櫃意象的幾何分割單元，展現海運文化轉譯與在地風貌呼應，形構具自明性的港區新門戶（圖 15、16）。



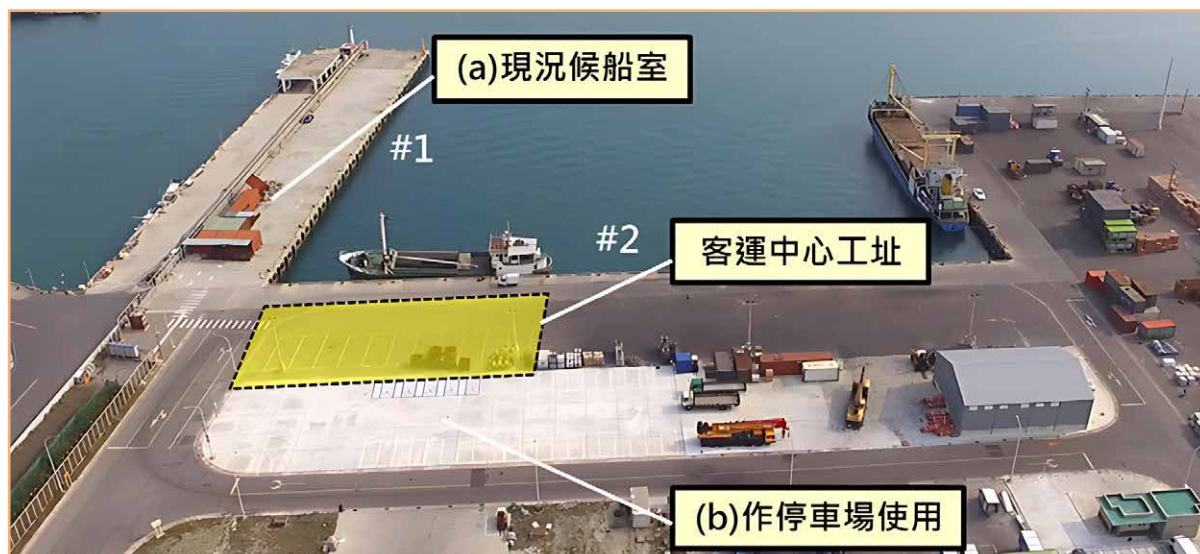


圖 11 基地位置圖

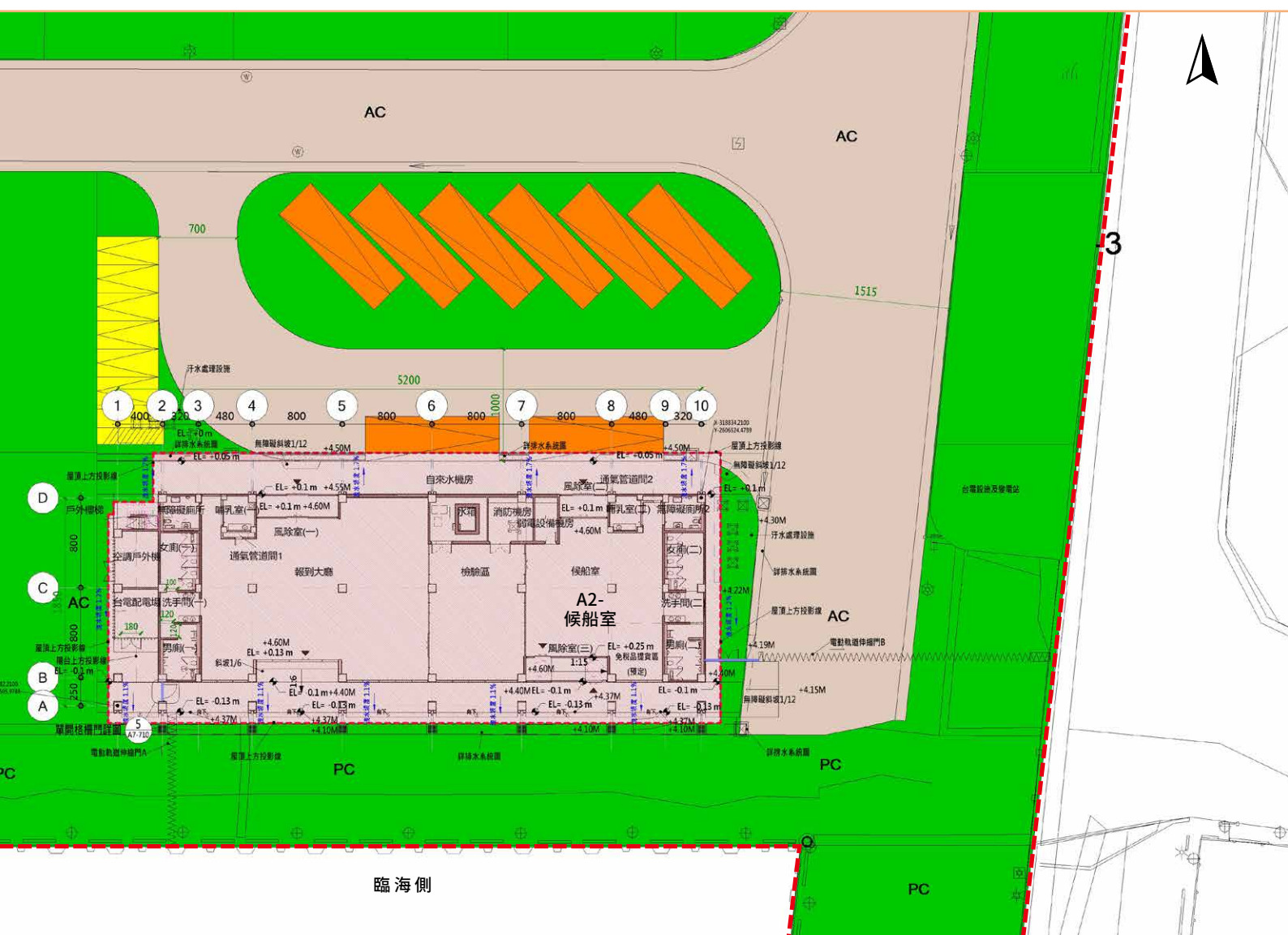


圖 12 全區配置圖

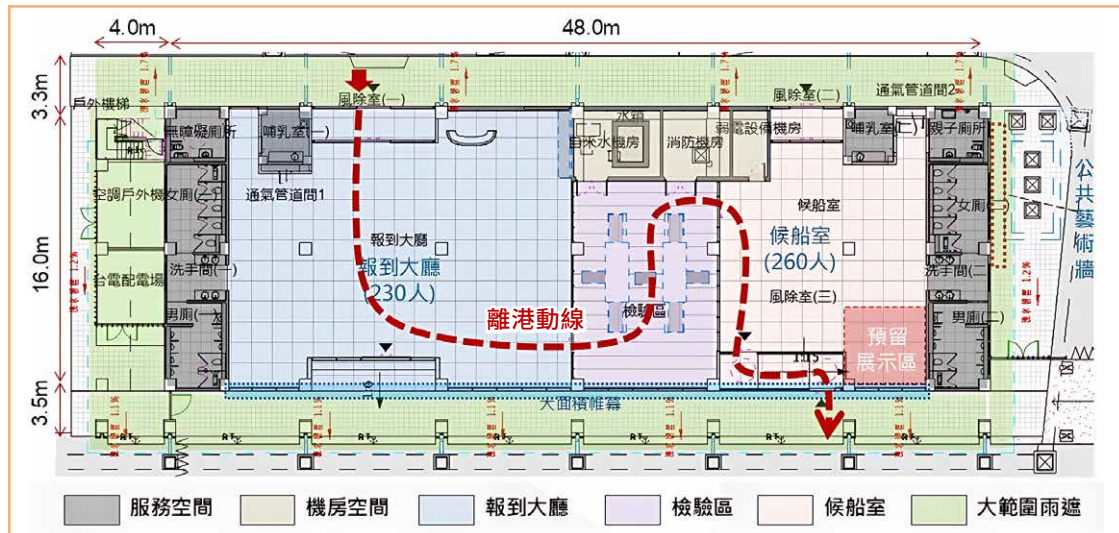


圖 13 離港動線示意圖

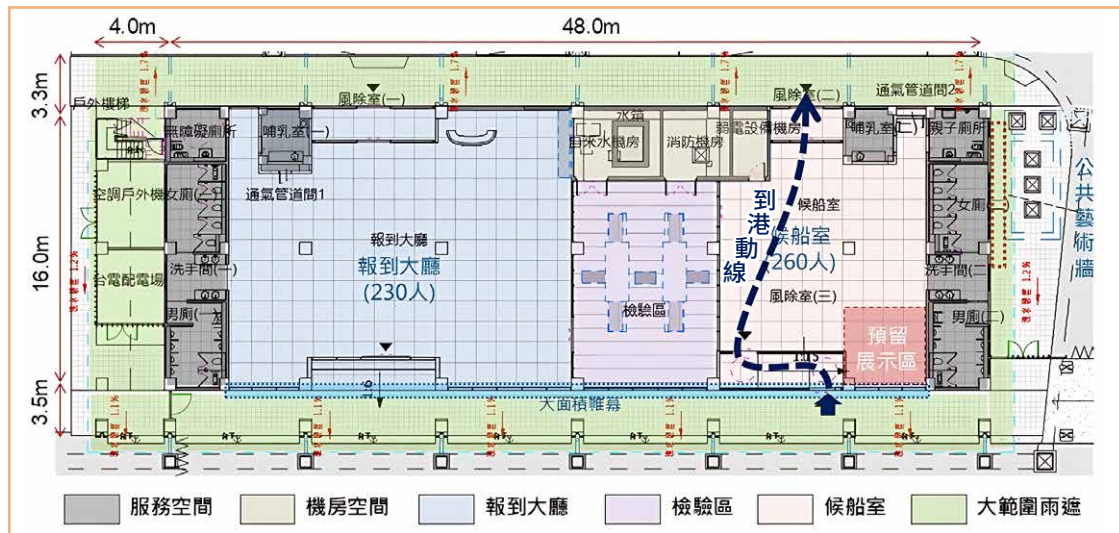
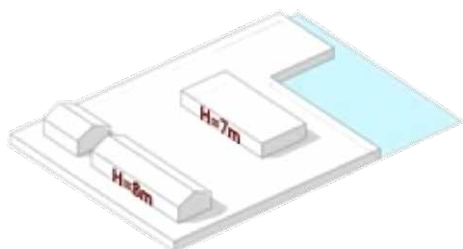


圖 14 到港動線示意圖



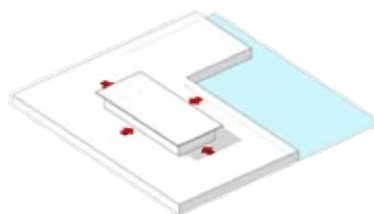
圖 15 建築意象與立面語彙

Step 1_ 尊重環境



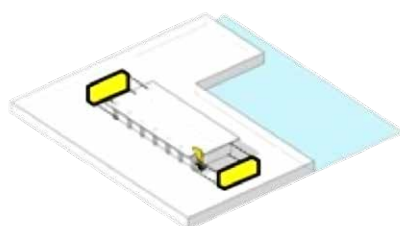
新旅運中心高度低於周邊既有倉庫，並採用一字型的配置簡化原本複雜的碼頭環境

Step 2_ 人性化設計



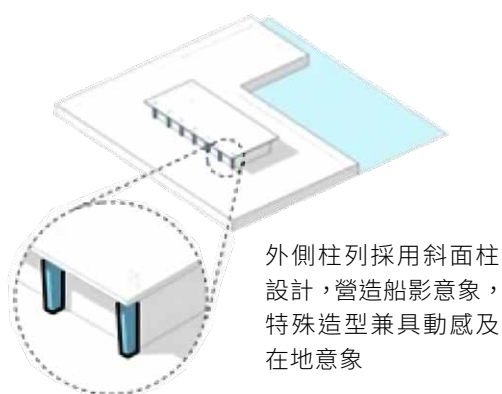
建築四周退縮 2～4 米，提供旅客遮陽避雨，可全天候使用的建築空間

Step 3_ 機能分區



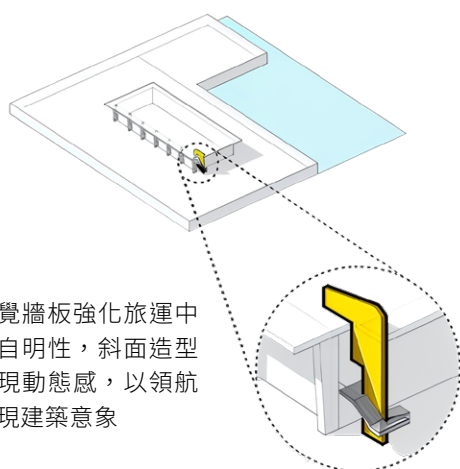
機房、廁所等服務空間設置於兩側與外側，將使用空間最大化，兼顧機能及經濟性

Step 4_ 船影意象



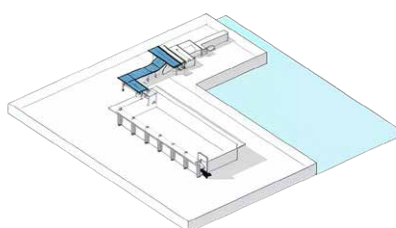
外側柱列採用斜面柱設計，營造船影意象，特殊造型兼具動感及在地意象

Step 5_ 強化自明性



視覺牆板強化旅運中心自明性，斜面造型呈現動態感，以領航表現建築意象

Step 6_ 舒適登船路徑



設置風雨走廊於登船路徑上，風雨走廊兩側柱位各出挑一米，提供遮陽及避雨的登船環境；採用波浪造型，呼應著過往船舶停靠碼頭的樣態，增添了一股具有活力的動態感

圖 16 設計概念示意圖

五、公共區室內設計

本案室內設計以公共大廳為核心，採大地色與暖色系為基調，營造穩定且易於辨識的公共空間氛圍。天花板配置波浪造型格柵，形成有序的空間節奏，並整合燈具及設備，提升維護便利性。牆面以木質

與暗黑色裝修面材搭配，兼具耐用及耐候特性。地面鋪面以明暗色帶分區，強化人流導引。整體配置結合資訊顯示與指標系統，提升空間使用效率與辨識度（圖17、18）。



圖 17 報到大廳室內模擬



圖 18 候船室室內模擬

六、挑戰與策略

另為提升使用彈性，建築配置於非航運時段可轉作旅遊推廣、社區集會、藝文展演與臨時災害避難空間，達成機能轉換與全年無間斷營運目標。離島工程常面臨人力、機具、材料與時程調度之多重課題，本案考量外島缺工、無人投標等風險，設計團隊係採用模矩化設計元件、縮短施工工期並降低現場風險及工作量。

參、總結

馬公與龍門尖山旅運中心兩案在基地條件、使用頻率與功能定位上各異，但皆須於空間不足、旅運量極端波動與建設資源

有限下完成具備查驗、轉運與觀光輔助功能之場站系統。馬公旅運中心以三層量體壓縮出入境動線、設備後勤與彈性商業空間，CIQS 流程配置集中且分流清晰，並預留機能轉換機制以對應非高峰期間使用；大斜屋頂與開放立面同時滿足通風、採光與港埠形象需求，建築系統採 RC 構造以確保耐久性與維護效率。龍門尖山旅運中心則透過單層集中配置整合候船、查驗與售票等基本機能，動線單一、設備簡化，建置週期短且可獨立營運，原貨櫃設施亦轉作免稅提領區再利用。兩案設計策略聚焦於流程整併、空間壓縮與構造清簡，均在條件受限情況下完成機能完整、維運簡便與辨識性明確之旅運基礎設施。

T3 機坪設施工程嶄露鋒芒

關鍵詞 Keywords

彈性機位 Multiple Aircraft Ramping System (MARS)

水泥處理級配粒料底層 Cement Treated Graded Aggregate Base Course (CTBC)

水泥混凝土鋪面 Concrete Pavement (PC)

台灣世曦工程顧問股份有限公司
桃機 T3 專案

資深協理

黃金田

專案經理

葉誌新

監造主任

游志偉



臺灣桃園國際機場第三航站區建設計畫，係依據行政院於 2011 年 4 月 11 日核定之機場園區綱要計畫，以及交通部於 2011 年 8 月 25 日核定之實施計畫為基礎所規劃，主要工程內容包括興建第三航廈、多功能大樓及相關基礎設施，以因應近年快速成長之客運量，並提升桃園機場服務品質。



台灣世曦承辦桃園國際機場股份有限公司「臺灣桃園國際機場第三航站區委託設計及監造技術服務」工作，工程分標多達 16 個工程標，其中第 3 標「臺灣桃園國際機場第三航站區機坪、滑行道及機坪設施工程」，(以下簡稱「機坪標工程或本工程」)，是「桃園機場第三航站區建設計畫」之縫合工程。此工程需在既有營運使用中之機場用地辦理新建機坪、滑行道及機坪設施工程，好比穿著衣服同時改衣服，須以機場營運為優先考量，克服施工腹地及進出動線受限問題，配合航空保安設施之管制，人員及機具進場均有所管制，施工方式及環境亦受到限縮，且面臨臨海區域之鹽害防制及廣大曝曬面之混凝土養護，施工困難度高，工作特別艱鉅。

此外，品質、工安、生態環境保護(育)、循環經濟節能減碳及移工管理照顧等，本團隊竭盡所能做到盡善盡美，也因此廣受產官學界青睞，踴躍觀摩交流，擔任著經驗傳承的使命。

機坪標工程已獲得台灣混凝土學會舉辦「113 年混凝土優良工程」特優獎、行政院公共工程委員會「第 24 屆公共工程金質獎」中央機關別土木工程類第一級優等及經台灣混凝土學會推舉，參加美國混凝土學會 (American Concrete Institute, ACI) 辦理之 Project Award 競賽，獲得卓越混凝土工程獎 (2025 ACI Excellence in Concrete Construction Awards) 平面工程類組第 2 名，可謂是嶄露鋒芒，屢創佳績。

壹、前言

因應國際航空市場之蓬勃發展，航空客運需求持續攀升，桃園機場近年客運量快速

成長，最高達每年 26.56 萬架次及 4,869 萬人次。依行政院核定之園區綱要計畫、交通部核定之實施計畫，興建第三航廈、第三跑道、停機坪及相關基礎設施。隨著第三航廈及第三跑道完工啟用後，年架次可提升至 44 萬架次，服務 8,200 萬人次旅客，以扮演國際空運樞紐為願景，並朝東亞樞紐機場為目標邁進。(圖 1)。

其中，第三航站區計畫更為其中最關鍵之建設。除了航廈建築外，尚有諸多關聯工程同步辦理；針對提供航機停靠、滑行、相應設施之空側工程，則為整體計畫中之優先標別，部分已完成機位即先行提供，以紓解航機使用之迫切需求。



圖 1 工程範圍示意圖

機坪標工程在「桃園機場第三航站區建設計畫」中肩負重要工項的救援任務，並扮演先驅者角色，分別完成下列工作：

一、X 交維改道，維持施工期間進出機場之交通動線需求，並解決關連標交付施工用地之時程。

二、北登機廊廳擋土樁及 APM（衛星廊廳旅客運輸系統）明挖覆蓋隧道，以降低對整體時程影響，減少相關標案間之介面衝突，並降低日後施工難度，避免影響機場營運。

三、如期完成 25-7 河水灌排改道工程，可廢除橫越機場之既有灌排水路，將施工用地交付主體航廈工程，避免影響進場施工，同時解決橫越跑道之下地管涵所造成飛安及營運維護之長久課題，亦有助於機場整體發展。

四、配合機場航務營運需求，機坪採分區施作完成後交付使用，以交換施工用地，總共 26 個機位，已完成 19 個機位供機關航務使用，並供停放航機架次共 13,411 架次。

貳、工程概述

機坪標工程主要工作內容，涵蓋第三航廈周邊之 E、F、G 停機坪及遠端機坪等設施，並興建多條滑行道，包括 P5 滑行道（排連接 NC 及 NP 滑行道）、Q 滑行道（連接 S 及 Q 滑行道）。相關設施則包含機坪地下及地上系統：排水工程（含滯洪池、箱涵、集水井、排水管涵）、共同管道、車行箱涵（含擋土牆）、自動化旅客運輸系統（銜接衛星廊廳）APM 結構體、旅客

空橋基礎（含固定空橋接駁站基礎）、管路工程（消防栓、輸油管線含油管排水、自來水管線）、燃油監控系統工程、陰極防蝕工程、管道工程（弱電）、管線遷移工程（高壓電管線、污水管線）、接地工程（共同管道、停機坪接地）、照明工程、勤務道路及交通維持工程等，可謂設施琳瑯滿目，施工介面極為複雜，須協調單位眾多。

機坪標工程停機坪及滑行道面積 42 公頃，相當於 4.2 座第三主體航廈工程。施工範圍全部位於管制區內，進出管制區將造成交通流量增加及航警檢查之負擔。為此，在施工初期即提出將管制區變更為非管制區之申請，並圍設保安圍籬（管理單位：營安處、航務處、航警局），以非管制區方式施工。進出動線改至航站北路及航站南路，使相關工序更為順行，亦較不受限空側相關限制規定。

工程主辦機關為桃園國際機場股份有限公司，專案管理為林同棧工程顧問股份有限公司（共同承攬代表廠商），設計與監造單位為台灣世曦工程顧問股份有限公司（共同承攬代表廠商），施工廠商為中華工程股份有限公司，混凝土供應廠商為國普混凝土工業股份有限公司蘆竹廠。

參、工程設計理念

機坪設施包括了環繞 T3 主體航廈的三大區域：北邊的 E 停機坪、南邊的 F 停機坪及西邊的 G 停機坪，並配合多條連絡停機坪之各式滑行道、停機坪上提供地勤車輛行駛之勤務道路、為航機服務之各項設施等工程內容。

為因應桃園國際機場之未來發展，按目標年尖峰時段航班預測、各航廈機位分配等分析後，第三航站區計規劃 C 類、E 類、F 類及 MARS 等四類靠站停機位及遠端機位，共計 21 個靠橋機位（2 個 F 類、14 個 E 類、5 個 C 類航機），另設置 4 個 E 類及 2 個 F 類遠端機坪機位（圖 2）。與以往國內機場設計相比，本次規劃具有多項創新與突破之處：

一、引進彈性停機位（MARS 機位）

每機位可彈性停靠 E/F 類乙架或同時停靠 C 類航機 2 架，以達空間及經濟性最大化。

國際民用航空組織（ICAO）航機類別翼展長度（m）：C 類航機 24 ~ 36（A319、A320、A321、B737-300……）、D 類航機 36 ~ 52（B757、B767……）、E 類

航機 52 ~ 65（A330、B747、B777、B787……）、F 類航機 65 ~ 80（B747-8、A380……）。

依設計單位規劃，為了在有限之空側空間作最有效的使用，須先行了解桃園機場現況服務機型，並綜合考量未來航空產業可能引進的新型機種、目標年航班狀況與既有停機坪之分配等，進行全盤性資訊綜整預測分析，提出建議之停機坪需求。

由於空側空間係供各國航機與航空公司使用，首先必須蒐整國際航空市場機型趨勢與發展，並依據本地機場之服務航線，擘劃將停放之各類機型，包含 C 類 11 種、D 類 3 種、E 類 16 種及 F 類 2 種，共計 32 種機型，並於計畫期間滾動檢討各停機位之服務停放航機機型。

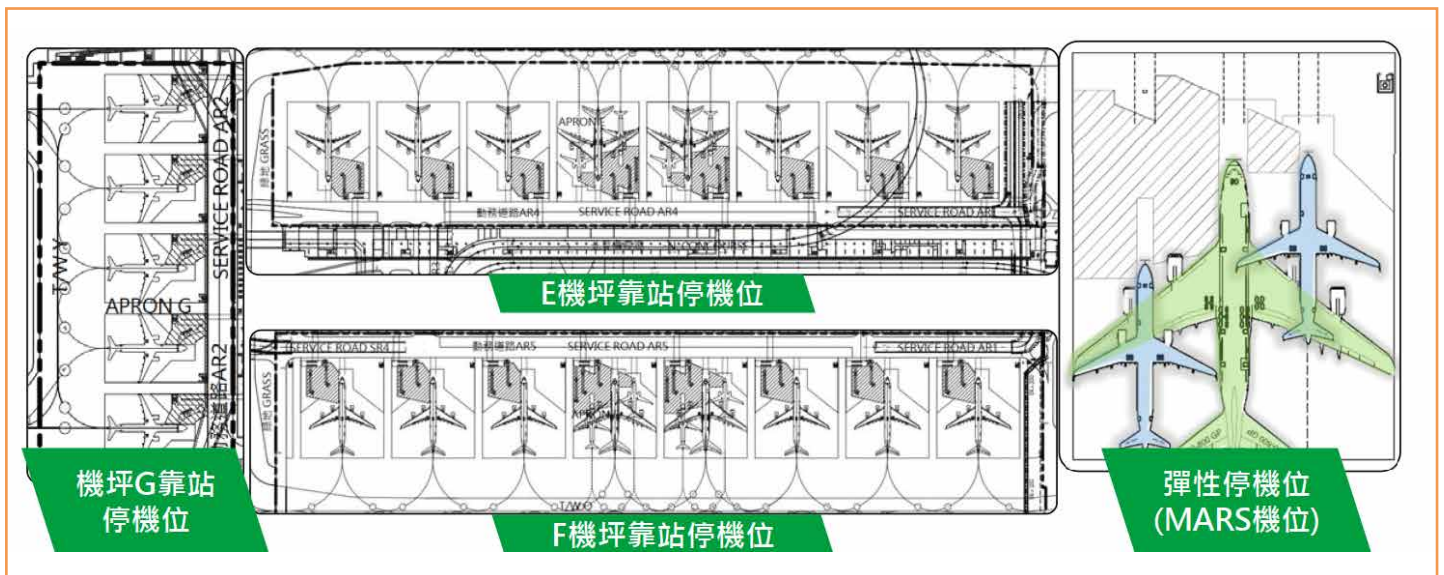


圖 2 機坪停機範圍及彈性停機位

二、安全、舒適與順暢的路線設計

在路線設計方面，依蒐集資料及利害關係人訪談，整合研擬機位配置及評估，並運

用 Pathplanner airside+ 程式模擬所有機型軌跡（圖 3），進行幾何設計，達到安全舒適與順暢的目標。

三、兼顧結構與飛航安全的道面設計

本工程以空側鋪面為主要工項，依循國際民用航空組織 ICAO、美國聯邦航空總

署 FAA 民航通告、CNS、ASTM 等國際及國內相關規範，進行設計並整合創新（表 1、圖 4）。

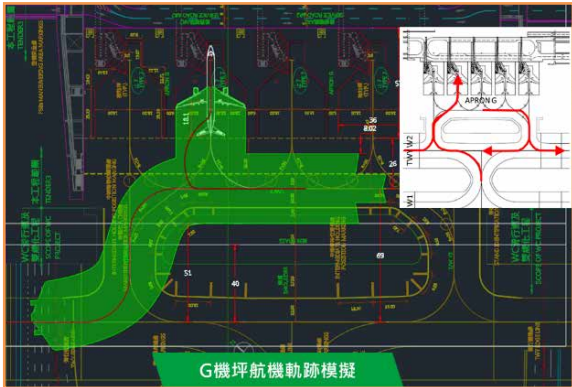


圖 3 航機模擬運行軌跡及抵臺機型調查

Airlines operate A380	Alliances	In service	In Order	Currently Operate A380 at TTIA
Asian Airlines	Star	4	2	No
Air France	SkyTeam	10		No
British Airways	Oneworld	11	1	No
China Southern	SkyTeam	5	-	No
Emirates	-	70+	~60	Yes
Etihad Airways	-	8	2	No
Korean Air	SkyTeam	10	-	No
Lufthansa	Star	14	-	No
Malaysia Airlines	Oneworld	6	-	No
Qantas	Oneworld	12	8	No
Qatar Airways	Oneworld	6	4	No
Singapore Airlin				No
Thai Airways				No

表 1 鋪面設計整合創新

項目	說明
水泥處理級配底層（CTBC）	剛性底層採水泥處理級配底層，提升耐久性與抗水侵害能力
剛性道面抗彎強度設計	於軸重作用下以撓曲應力控制，作為剛性道面面層設計考量
採用第 II 型水泥	II 型水泥水化熱較少且慢，減少混凝土溫升之乾縮裂縫情形，並滿足鄰海區域防蝕需求
鋪面最適厚度	因應航空市場新型航機辦理鋪面分析設計
新舊鋪面銜接	新舊鋪面以伸縮縫銜接處理，航機通行處加厚設計或設置傳力鋼棒，避免鋪面不連續造成板塊損壞及發生段差

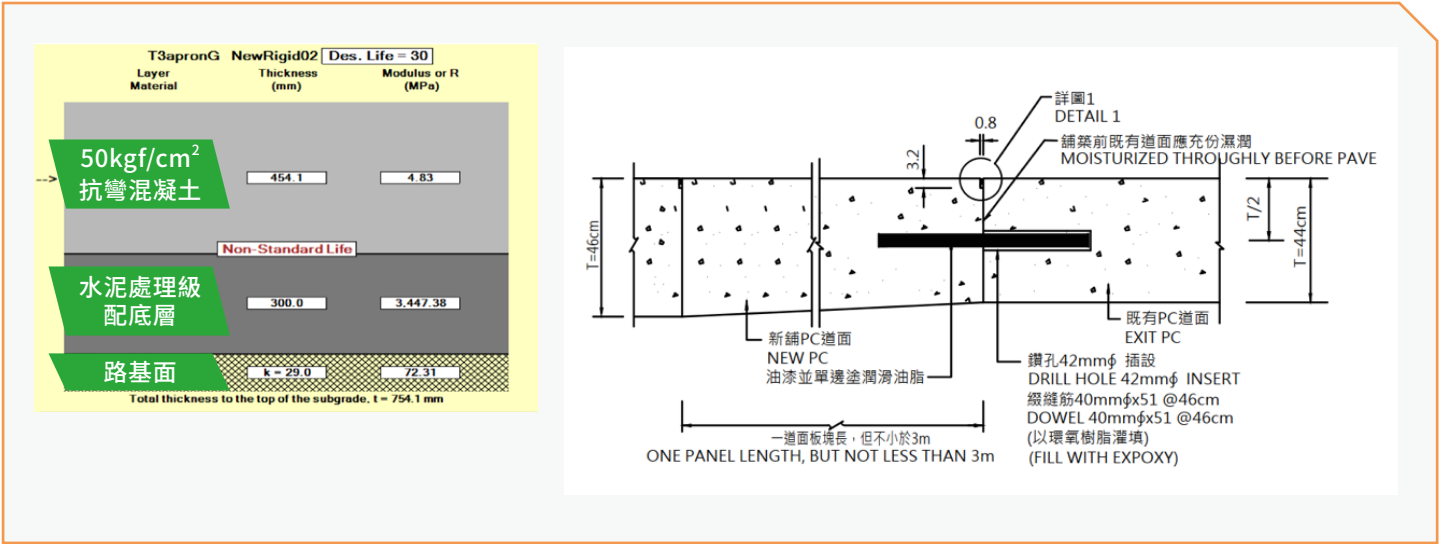


圖 4 停機坪道面組成及新舊鋪面銜接詳圖

肆、工程施工

一、地層狀況

(一) 地形

本工程位於桃園市西北隅，屬於桃園台緣計畫所在區域。地勢大致平緩，東南側地形較高表程平緩，東南側地形較高表程 EL.26m ~ 29m，西北側地形較低表高程，西北側地形較低表高程 EL.22m ~ 26m，由東南向西北遞降。

(二) 地質

本工程基地區域內出露地層主要為更新世之桃園層。桃園層岩性由礫石和上覆約 1 ~ 2m 厚之紅土組成，而礫石主要由砂質砂岩組成，粒徑約在 10 至 30 公分之間，膠結及充填物為泥砂，礫石之淘選甚差，大小不一之圓形礫石零亂相混，厚度約 25 ~ 30 公尺。其下伏之岩層則屬大南灣層，此大南灣層岩性為未固結粉質砂岩，膠結疏鬆，岩體強度遇水即弱化。

山腳斷層為本工程鄰近區域最主要之地質

構造，距離約 19 公里，依據經濟部中央地質調查所出版之五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖及說明書（2010），係屬第二類活動斷層，於進行結構物耐震設計時，可無須考慮區域近斷層效應。

(三) 地下水

為瞭解本工程範圍內地下水位變化情形及是否存在壓力水層，除於鑽探期間量測各鑽孔之地下水位外，另選擇適當孔位安裝水位觀測井進行觀測。本工程區內共計埋設 11 處地下水位觀測井。依現場鑽探期間觀測結果顯示，本區域地下水位高程變化約略位於地表下 5 ~ 9 公尺（EL.17.48m ~ EL.24.89m），且地層中亦未發現壓力水層。由於局部道路路基高程低於地下水位，恐影響路基土壤之穩定性，故應考量於路基下設置相關地下排水設施。

(四) 聯外交通及施工交通動線 (圖 5)

桃園機場東側主要以台 4 線作為對外聯絡道路，施工區域周邊之主要聯絡道則有航



圖 5 聯外交通及施工交通動線示意圖

勤南（北）路。其中，航勤南路寬 15 公尺，採雙向 3 車道不平衡配置，為航空貨運進出倉庫主要服務道路，尖峰時段車流量大。施工期間若經由此路進出，必須注意交通延滯對混凝土澆置及瀝青混凝土鋪築之影響。北場部分可利用北七崗進出，惟進入場內後，仍需藉由環場北路、西勤務道及國內機坪交通道，才能到達管制哨進入 NC 滑行道工區。

至於機場西側進入工區，有北一崗可進出。進入場內後，需藉由西勤務道路道路及國內機坪交通道，到達管制哨；再由管制哨左轉走施工便道，最後抵達 NC 滑行道工區。

二、施工順序

（一）保安圍籬設置、滑行道關閉

機場內屬管制區域，需事先申請施工區域，並召開會議與相關單位確認。圍籬建置後，須會同航警檢查；若涉及滑行道關閉，則須會同機場教官至封閉區域確認阻絕設施位置，完成後方能進行施工，流程如下（圖 6）：

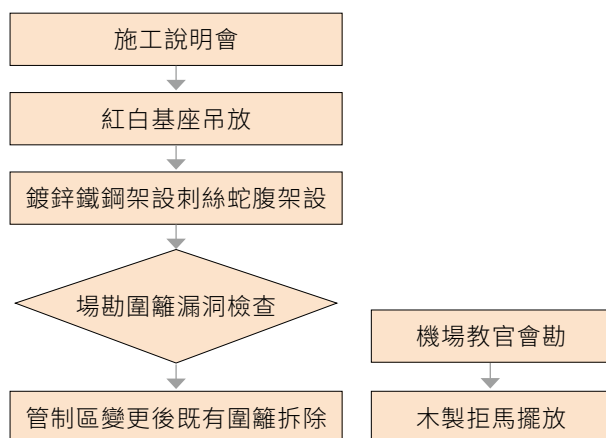


圖 6 保安圍籬設置、滑行道關閉流程



紅白基座擺放



鍍鋅鐵網架設



刺絲蛇腹架設



會勘圍籬漏洞檢視



管制區變更後既有圍籬拆除



木製拒馬擺放

(二) 工地拆除

本工程包含既有 WC 滑行道部分拆除、既有 R 滑行道部分拆除，以及拆除既有過夜停機坪。施工程序為：先進行測量，初步釐清拆除範圍，經確認後於現場進行標記，完成放樣程序後，隨即展開拆除。拆除流程如下 (圖 7):

(三) 基地開挖及路幅填築 (圖 8)

將施工區域開挖至設計高程後，透過工地密度及加州承載比 CBR 試驗，判斷該區土質是否為不適用土壤 (表 2)。若為不適用土壤，則依規定置換；置換完成後，以載重試驗檢核道基強度，後續分層填築至設計高程。



圖 7 工地拆除流程圖

表 2 不適用土壤判定及土方置換基準

CBR 值	現場密度試驗	處理步驟
達設計值	$\geq 85\%$	直接滾壓，使 30cm 以內壓實度達 95% 以上
	$< 85\%$	(1) 路基頂面下 30cm 挖除後，先滾壓該路基面至壓實度達 90% 以上 (2) 30cm 以內應換料，分層鋪設，並滾壓至壓實度達 95% 以上
未達設計值	$\geq 85\%$	(1) 路基頂面下 30cm 挖除後，先滾壓該路基面至壓實度達 90% 以上 (2) 30cm 以內應換料，分層鋪設並滾壓至壓實度達 95% 以上
	$< 85\%$	(1) 路基頂面下 75cm 挖除後，先滾壓該路基面至壓實度達 90% 以上 (2) 75cm 以內應換料，分層鋪設，並滾壓至壓實度達 95% 以上

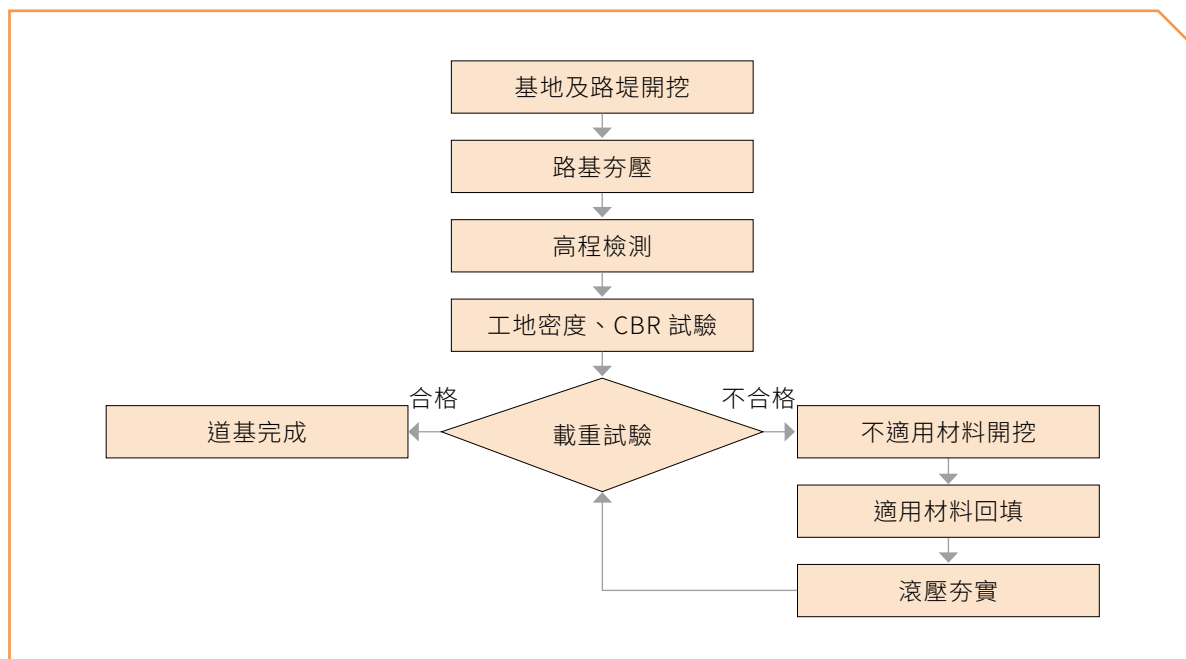


圖 8 基地開挖及路堤填築流程

基地範圍開挖取得材料大多數屬卵礫石，且土質粒料大多超過 10 公分，既非屬施工規範第 02320 章不適用材料定義直接運離現場，亦不符合施工規範第 02317 章構造物回填回填材料之規定，致後續構造物回填工

作無法推展；基於符合挖填平衡，必須將構造物開挖所得卵礫石粒徑中大於 10 公分者近行碎解，處理為小於 10 公分石塊，以作為回填材料（圖 9、圖 10）。



圖 9 現地開挖卵石 (>10cm) →碎解處理→碎解後合格材料 (<10cm)



圖 10 原地面 CBR、工地密度試驗→不適用土壤挖除運離→碎解料填築及夯壓→重型車載試驗驗證

(四) 水泥處理級配粒料底層 (Cement Treated Graded Aggregate Base Course, CTBC)

水泥處理級配粒料底層，係將級配粒料、水泥和水之混合料，於拌和廠拌和而成，以適拖車運送至現場，再依據規範予以攤平、滾壓而成（圖 11）。依設計圖說所示之線形、坡度、高程及橫斷面，攤平、壓實於已滾壓

整理之基礎土壤或基層上者。水泥處理級配粒料底層之水泥含量，7 天之抗壓強度達 400psi 以上，但不得大於 800psi，28 天之抗壓強度不得大於 1000psi。於通過載重試驗之道基面鋪設水泥處理底層，分兩層施作以鋪築機鋪築，每層不超過大於 20cm 或小於 10cm，完成後之底層須噴灑養護劑，並以工地密度試驗驗證壓實度。

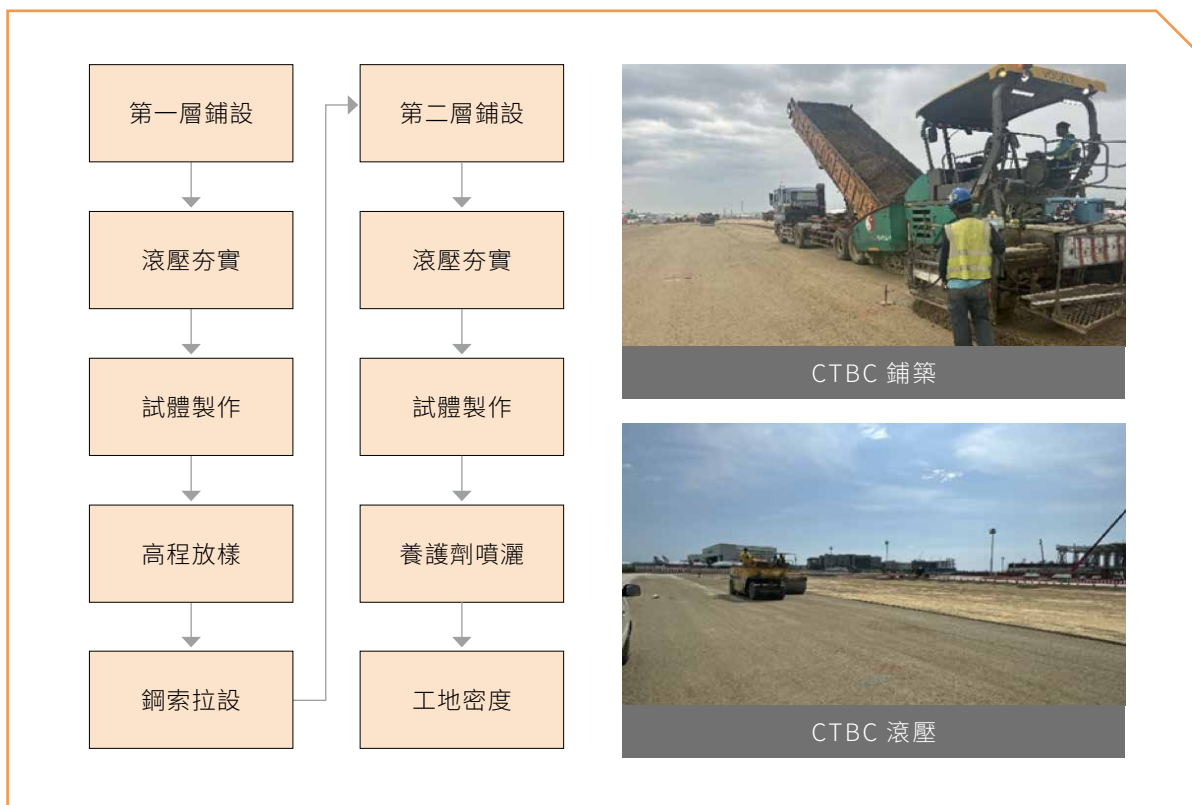


圖 11 水泥處理級配粒料底層鋪築流程

(五) 水泥混凝土鋪面 (Concrete Pavement 簡稱 PC)

本工程水泥混凝土鋪面 (PCC) 總量為 165,771 m³，佔總工程金額約 20%。於完成之水泥處理底層上施作，以鋼模透過精準測量檢測控制板塊四個角點高程 (圖 12)，

確保道面洩水坡度。鋪設時設置綴縫筋，使板塊間能有效傳遞力量 (圖 13)；道面表面以掃紋方式增加摩擦力 (圖 14)。完工後立即噴灑白色液膜養護劑，隨後施作道縫鋸切，並填塞彈性墊條及填縫劑，以減少水分滲入道基層，延長道面使用壽命 (圖 15)。

水泥混凝土鋪面 PC 澆置後養護，因工區位於機場航空管制區內，且道面範圍大，不易使用不織布或麻布灑水養護，且易造成 FOD（外來異物）影響飛航安全，故採用白

色液膜養護劑。該養護劑可形成堅韌耐久的保水膜層，防止混凝土表面水分快速流失，其保水率長達 3 天以上，甚至在多日內仍保有 95% 以上的效能，確保剛性道面的品質。

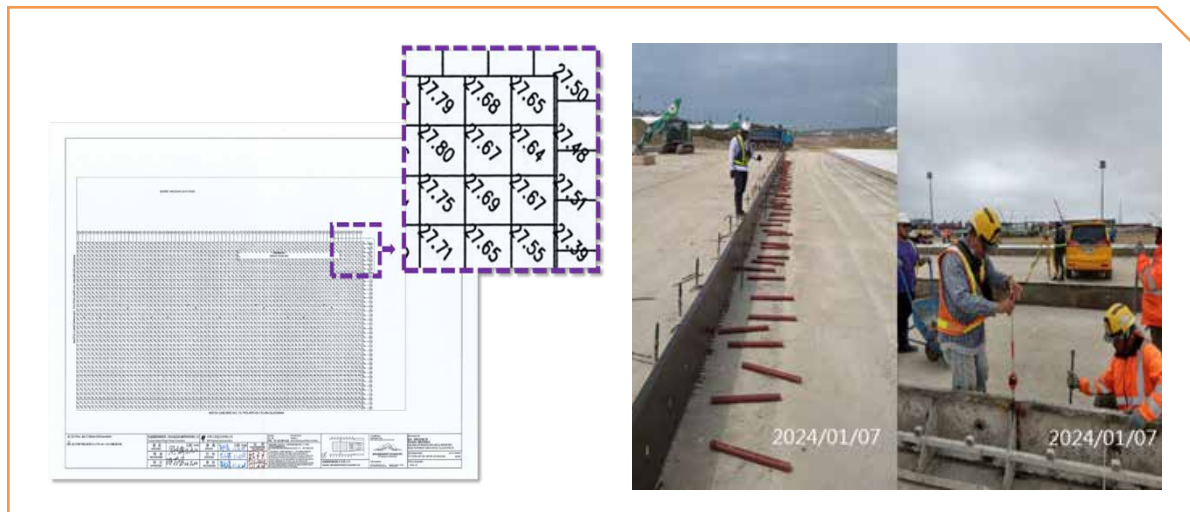


圖 12 個別鋪面板塊 4 個角點高程均不同→角點測量檢測→鋼模高程調整

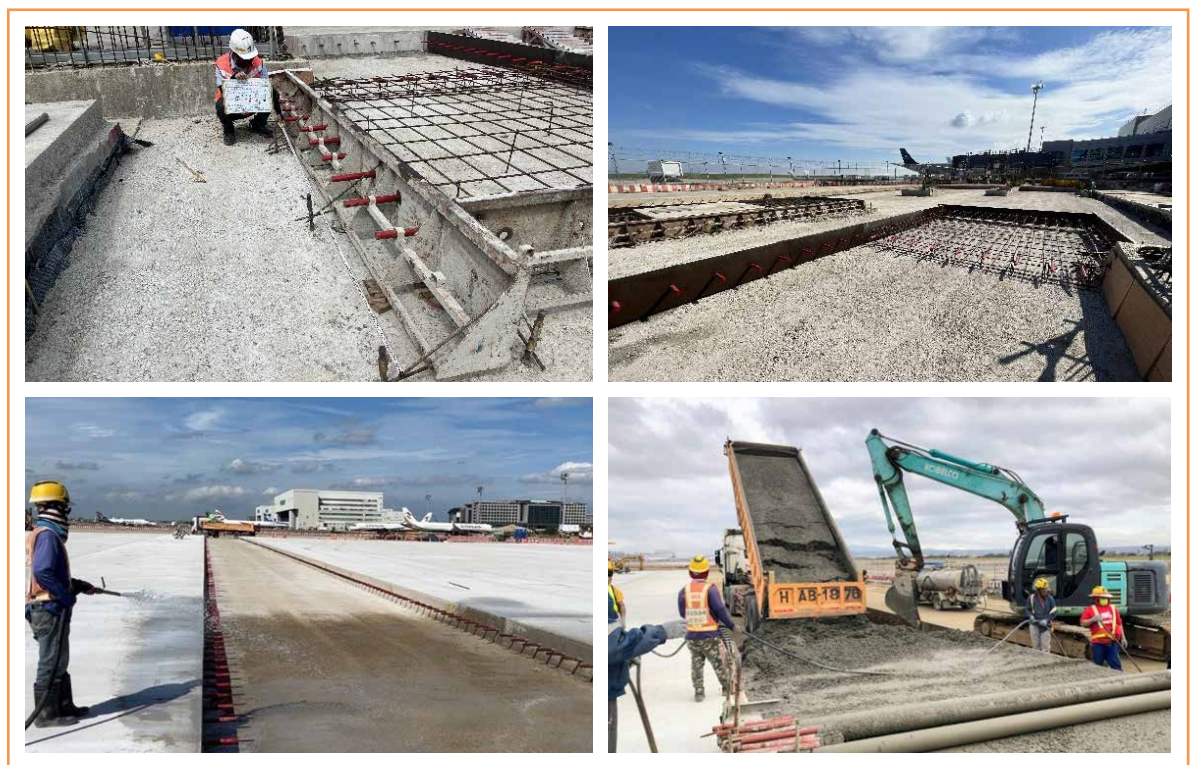


圖 13 鋼模支撐固定→綴縫筋設置、脫模劑塗抹→澆置前灑水→混凝土澆置

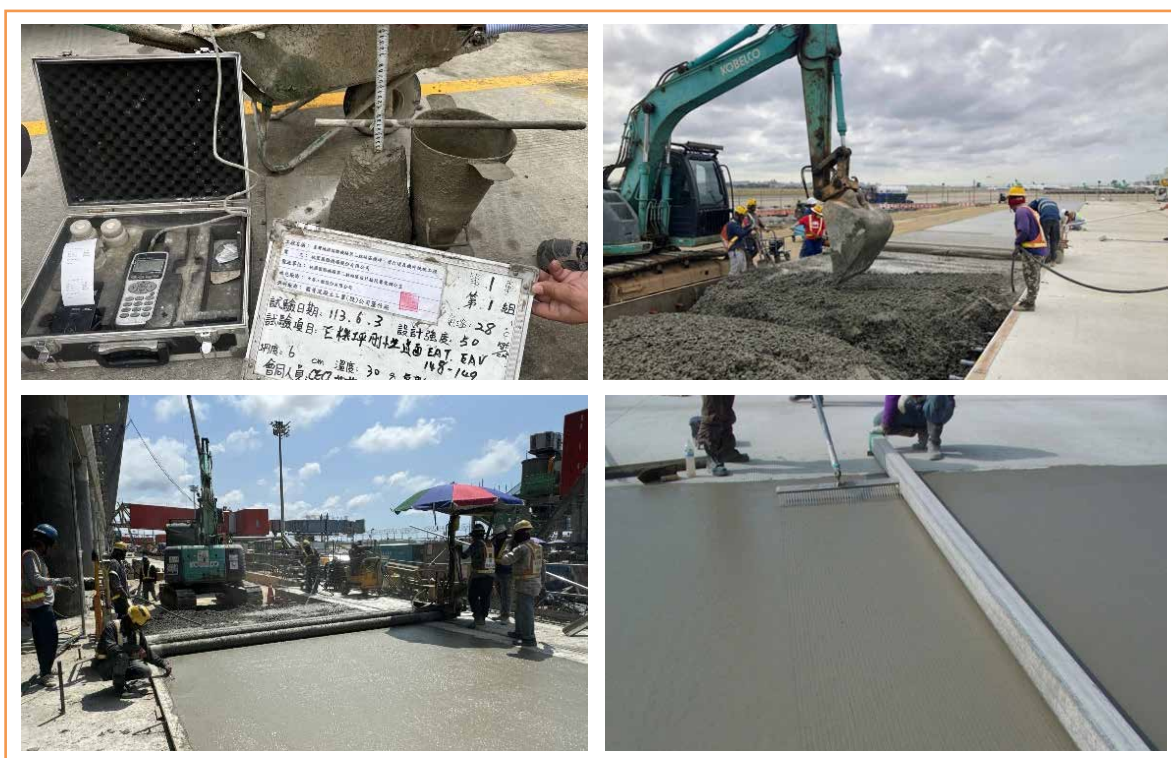


圖 14 試體製作→震動搗實→鋪築機壓密整平→鋪面人工掃紋

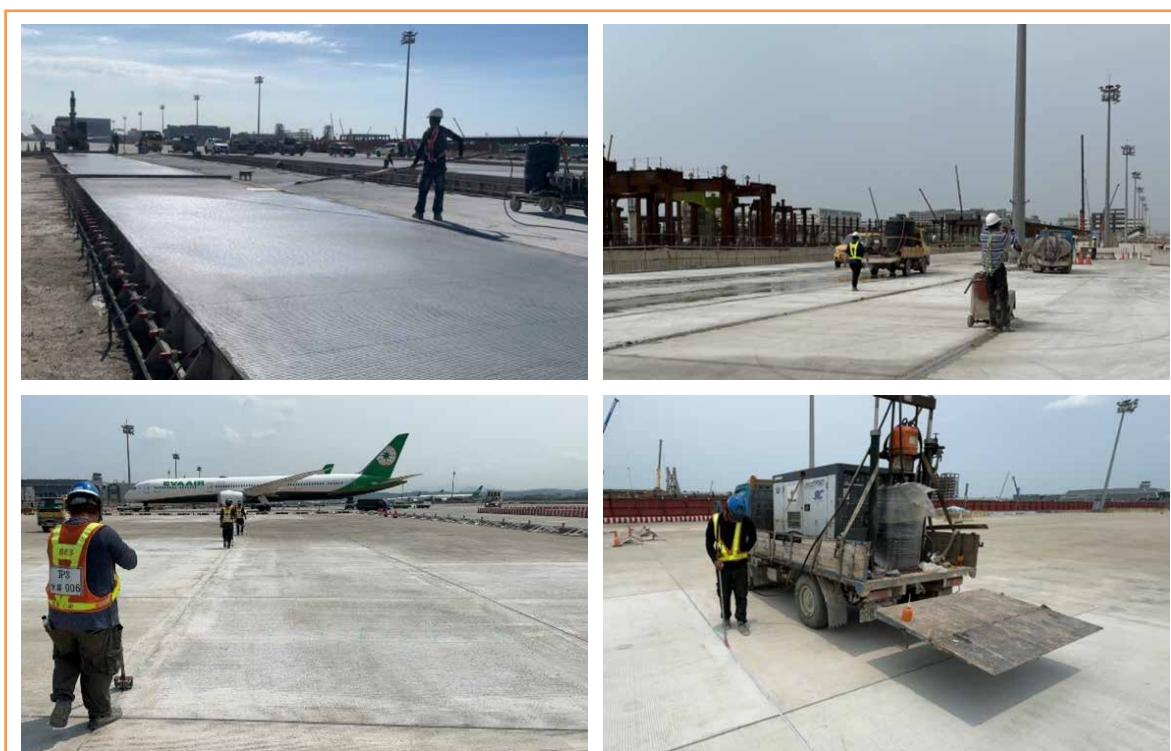


圖 15 養護劑噴灑→鋪面隔離縫鋸切→彈性墊條填塞→填縫劑填塞

伍、工程特色

本計畫之規劃設計，係因應桃園機場近年客運量快速成長，第一航廈雖歷經擴建，第二航廈之容量亦已不敷使用。隨著第三航廈興建及旅運量持續增加，再加上第三跑道正施工中並預計完工啟用，機場年架次可提升至 44 萬架次，服務 8,200 萬人次旅客。

本工程之規劃設計具有前瞻性、創新性，並深具挑戰性及周延性。雖尚未全數完工，惟各機坪與滑行道在階段性完成後，即陸續辦理部分驗收，並分批交付航務處使用。截至

目前，已提供 19 個機坪，供 12,612 架次停放使用，展現顯著工程效益。

本工程特色如下：

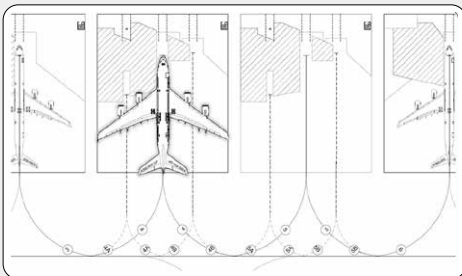
一、工程創新及挑戰

(一) 國內首次採用彈性停機位 (MARS) (圖 16)

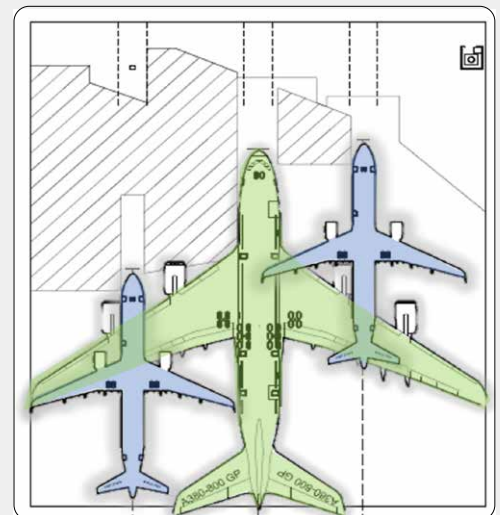
單一機位可彈性停靠 E/F 類乙架，或同時停靠 C 類航機兩架，按不同航機抵達狀況彈性調整，以提供空側整體最大服務容量。

國內首次採用彈性停機位 (MARS)

- 單一機位可彈性【停靠 E/F 類乙架】或【同時停靠 C 類航機兩架】
- 按 MARS 配置，E 與 F 機坪 (16 個靠橋機位) 服務之航機彈性：
2F+14 E (16 架) ↔ 12 E+8 C (20 架) ↔ 6 E+20 C (26 架)
- 按不同航機抵達狀況彈性調整，可提供空側整體最大服務容量



ICAO 航機類別	展翼長度 (公尺)
C 類	24~36(A319, B737...)
D 類	36~52(B757...)
E 類	52~65(A330, B747...)
F 類	65~80(A380...)



彈性停機位 (MARS)

國內首次採用彈性停機位 (MARS) >>> 可提供空側整體最大服務容量

圖 16 國內首次採用彈性停機位 (MARS)

(二) 鋪面材料設計及整合創新

本工程抗彎混凝土及一般混凝土，已適度使用飛灰、爐石粉等卜作嵐礦物摻料，不僅可提升混凝土材料之施工性與耐久性，又能達到經濟性之目標（採用卜作嵐材料減少水泥量約 4.8 萬 t，總減碳量約 1.67 萬 t-CO₂e）（圖 17）。道面採用 28 天抗彎強度 50kgf/

cm² 之水泥混凝土，使用 II 型水泥水化熱較少且慢，減少混凝土溫升之乾縮裂縫情形；剛性底層採水泥處理級配底層，提升耐久性與抗水侵害能力；另新舊鋪面以伸縫銜接處理，航機通行處加厚設計或設置傳力鋼棒，避免鋪面不連續造成板塊損壞及發生斷差。

鋪面材料設計

● 單滑行道面層材料：

- 石膠泥瀝青混凝土 (SMA, 提供良好抗滑性、抵抗車轍變形並提升耐久性)
- 密級配改質瀝青混凝土 (DGAC, 改善道面強度及績效, 延長服務壽年)

● 停機坪鋪面層材料：

- 水泥混凝土 (PC, 抗彎強度 50kgf/cm²), 改善因拌合水泥量高工作性問題。抗彎混凝土及一般混凝土已使用飛灰、爐石粉等卜作嵐礦物摻料, 提昇混凝土施工性與耐久性, 又達到經濟性之目標

● 採用卜作嵐材料減少水泥量約 4.8 萬 t

★ 減碳量約 **1.67 萬 t-CO₂e**

★ 相當於 **43 座大安森林公園碳吸附量 / 年**

【大安森林公園每年碳吸附量約 389 t-CO₂e】

混凝土類型	混凝土數量 (m ³)	總飛灰 + 爐石粉重量 (t)
停機坪抗彎混凝土	165,771	31,662
結構用混凝土	94,756	16,408
總計	260,527	48,070



鋪面材料設計 >>> 減碳量約 1.67 萬 t-CO₂e

圖 17 鋪面材料設計及整合創新

(三) 重型車輛載重試驗 (圖 18)

本工程為因應機場範圍土質變化差異大, 僅以工地密度試驗檢驗路基壓實度, 期全面掌握路基品質困難度高, 故依據「美國聯邦航空總署施工規範」(FAA, 2014), 研發試驗機具 (俗稱大牛), 進行重型車載試驗, 滾壓機行駛全面完成範圍往返 3 次, 不得有超過 1 英吋 (25mm) 之車轍變形, 滾壓機具有 4 個以上並列輪胎, 每個輪胎須負載至少 30,000 磅並充氣到至少 125psi, 總車載機具重量為 57.18tf, 以模擬航機運行載重, 確保道基品質一致性, 提升品質耐久性及降低維護管理。

(四) 升降式高桅桿燈燈桿

高桅桿燈係安裝在機坪上, 每個機位 2 側各有 1 座, 燈桿高度計有 25m 及 19m 兩

種尺寸, 提供航機夜間或視線不佳靠站、出站及活動空橋靠橋暨機坪場務人員作業等之照明使用, 國內機場首次設計採用升降式高桅桿燈, 升降式燈桿可提昇營運階段維護作業安全, 桿體內外採熱浸鍍鋅處理加烤漆, 鍍鋅附著量達 600g/m² 以上 (大於 CNS 嚴酷腐蝕環境規定 550g/m²), 桿頂設置避雷針保護設備避免雷擊, 除避雷接地亦有設備接地, 接地電阻值 <5Ω; 電源開關箱一次側裝設突波保護裝置, 避免雷擊突波損及整體設備。燈具外表採防蝕烤漆處理, 提升照明設備耐久性, 照明設施維管兼顧, 利於機關維護管理及提昇維護作業安全 (圖 19)。

重型車輛載重試驗

路基完成面檢驗

1. 以砂錐法測定現場土壤密度試驗外，另採取滾壓檢驗方法驗證壓實度。
2. 滾壓機具有四個並列輪胎之重型輪胎式滾壓機。
3. 每個輪胎須負載至少 30,000 磅 (13.6tf) 並充氣到至少 125psi (0.861MPa)。

滾壓檢驗進行時，會同工程司在場監看，如有不合格情形，則辦理移除置換或修正以符要求。



2018/09/26

四個並列輪胎



2018/09/26

充氣到至少 125psi



2024/01/05

鋼胚重量 :50.54tf
車載試驗機具重量 :6.64tf
總車載重量 :57.18tf

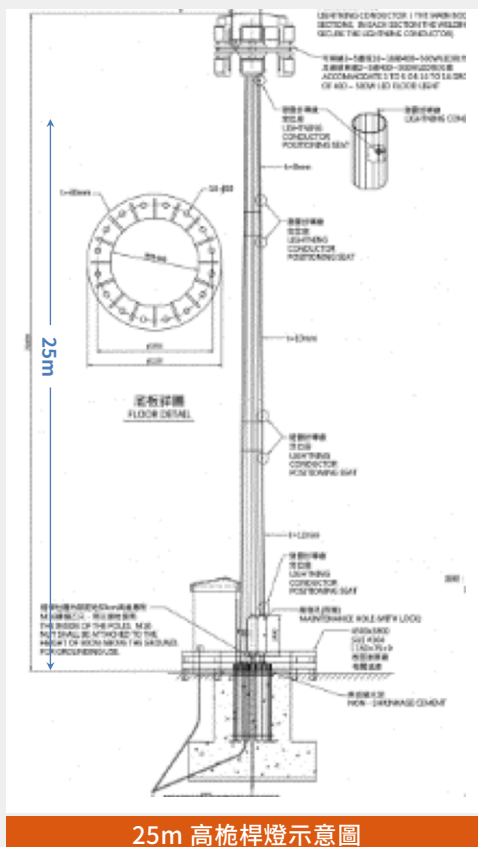


2019/08/05

每個輪胎載重 :
14.295tf > 13.6tf

重型車輛載重試驗 (路面完成面檢驗) >>> 確保路基品質一致性

圖 18 重型車輛載重試驗



25m 高桅桿燈示意圖



2024/01/09

高桅桿升降設備



2024/04/13

突波保護設備 (SPD)

升降式高桅桿燈 >>> 提升營運階段維護作業安全

圖 19 升降式高桅桿燈桿

(五) 剛性道面洩水坡度控制

為確保大面積停機坪道面洩水坡度之控制，依設計每塊道面板塊四個角高程均漸變，其完成面高程並鄰接板塊之高程，因此道面板塊高程之控制益形重要，避免造

成道面積水，影響航務營運使用安全。本工程剛性道面皆採鋼模組立固定，並經測量逐角點檢測座標與高程確認符合設計後始可鋪築，板塊完成後並複測高程 (圖 20)，確保道面不積水。

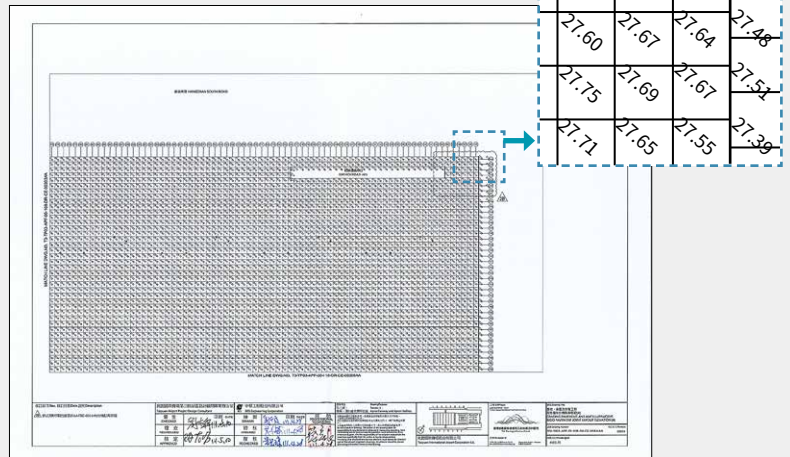
1. 依照排水及板塊分割施工圖說計算板塊座標及高程。
2. 水泥處理級配底層 (CTBC) 完成後，進行板塊位置及高程放樣。
3. 放樣位置及高程，進行板塊鋼模組立。
4. 鋼模組立後，再進行各板塊間高程微整後固定。



鋼模組立



鋼模高程微調



剛性道面洩水坡度控制 >>> 逐角點檢測座標與高程

圖 20 剛性道面洩水坡度控制

(六) 剛性道面掃紋

為確保剛性道面掃紋品質，以人工方式採用專用工具配合各種環境現況條件精雕細琢，剛性道面的掃紋工具係採用不銹鋼製拉毛刷，鋼刷之間距 1.5cm，並配合鋁製平衡尺輔助控制，掃紋需控制其深度，依規範規定掃紋平均深度量測應每鋪築 350M³ 量測一次，掃紋平均深度應接近 1.5mm 深，紋痕平均深度檢測值為 1.3 ~ 1.7mm 時，得視為合格（圖 21）。未能合格之區塊，應鋸切、吊除重做，或改善至合格為止。依規範掃紋量測方式有 3 種方式：

1. 體積量測法

採用沙量測法。其原理係以已知體積之沙鋪布於道面上，以填塞其凹陷槽溝，將體積除

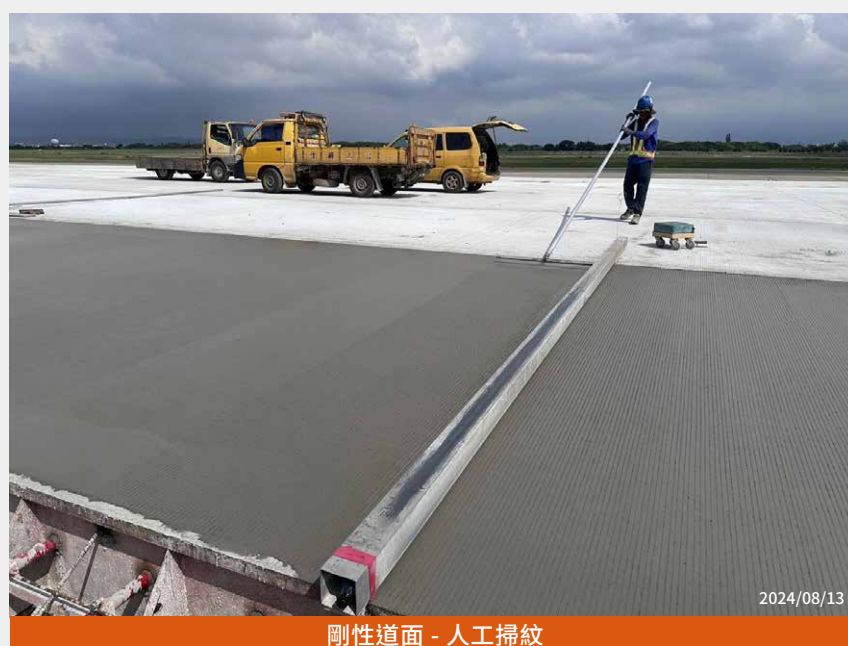
以鋪布面積，即可求得凹陷槽溝（道面紋路）之平均深度。

2. 剖面量測法

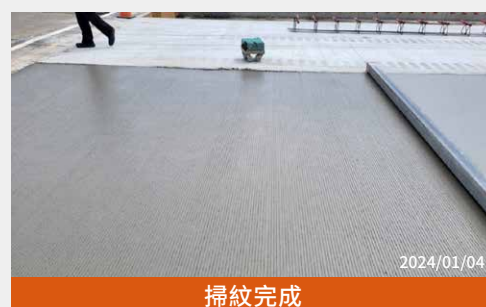
採用拓印法（replica print）之變通方法。其方法係將塑膠粘土鋪布（擠嵌）於道面上，硬化後切割剝離塑膠粘土，直接量測剖面處之紋路深度（須於鋪布塑膠粘土前塗刷止黏劑），並作平均。

3. 精密游標卡尺直接量測法（本工程採用之）

採用精度達 0.05mm 之精密游標卡尺，直接站立於道面上量測。施工廠商會同監造單位量測時，隨機取得約 20cm*20cm 之正方形面積，再以站立之精密游標卡尺，於該面積上量測 10 點紋深，取平均值即可。



剛性道面 - 人工掃紋



掃紋完成



紋痕平均深度檢測值為 1.3~1.7mm 為合格

剛性道面人工掃紋 >>> 精雕細琢 穩定品質

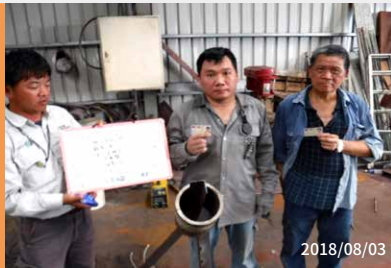
圖 21 剛性道面道面掃紋

(七) 輸油管線銲接

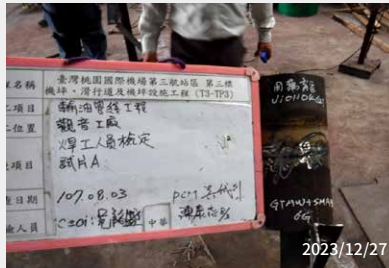
輸油管線之主管先進行部分預製，現場開挖至指定高程後吊放管線並銲接固定，銲道檢驗完成後施作防蝕包覆及漏電檢測，後續安裝加油栓閥桶施工，銲工人員皆具備 6G 銲

接姿勢檢定等級合格驗證，且為確保品質符合契約要求，本案規範規定油管對接銲道 100%RT 檢驗，並會同監造專業檢驗人員 X 光判片檢查（圖 22）。

6G 銲接技術檢定



6G 銲工人員檢定



6G 銲工人員檢定



人員檢定 - 鋼管銲接樣品送驗



檢定合格進行銲接油管



油管銲道檢驗 - 放射線照相檢測



油管銲道檢驗 - X 光片判片

油管銲接 >>> 油管對接銲道 100% 採 RT 檢驗

圖 22 輸油管線銲接施工

二、工程周延性與生態環境維護

(一) 滯洪池與排水設置

配合停機位配置，利用集水井、管涵或箱涵等排水構造物收集停機坪雨水逕流，並於排水系統下游處設置油水分離池，避免停機坪油漬污染聯外排水系統，及分區隔離排水系統火災事件，並增加停機坪消防安全。E、

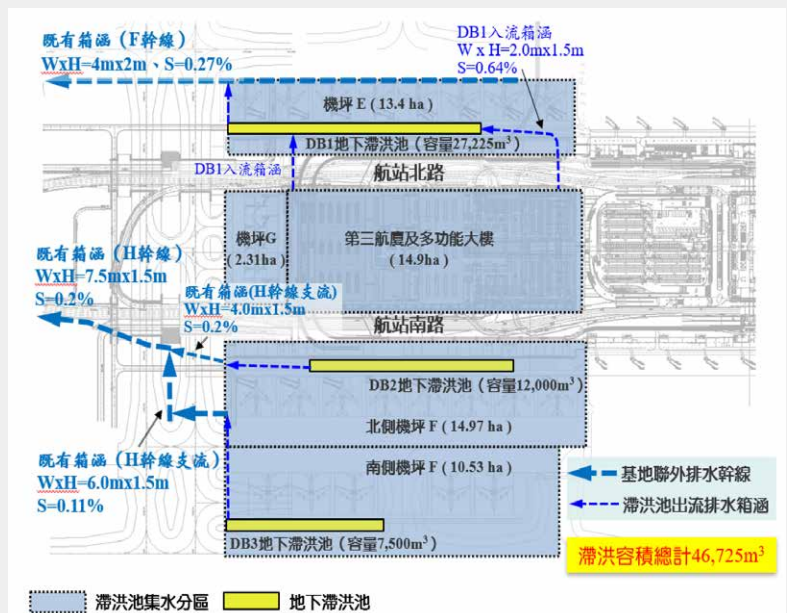
F 機坪及遠端機坪各設置 1 處滯洪池，總滯洪量達 $46,725\text{M}^3$ ，採出流 10 年、入流 100 年重現期之洪峰流量；滯洪池為重力式排放至區外排水路，兼具空側服務及整體防災需求，降低營運期間之維護管理頻率及運轉風險（圖 23）。

天然與人為災害之預防

機坪整地及排水系統

- 機坪地表排水：整地合成坡 0.5%~1%
- 採出流 10 年、入流 100 年重現期之洪峰流量；設 3 處滯洪池 ($46,725\text{M}^3$)
- 滯洪重力式排放至區外排水路，降低營運期間之維護管理頻率及運轉風險
- 於各地下車行箱涵出入口處設防洪閘門及低點抽水井等多重設施，防止雨洪入侵建築物內

排水設施種類	重現期距（年）
停機坪	10
滑行（跑）道排水設施	10
滯洪池入流量	100
滯洪池出流量	10



機坪整地及排水系統 >>> 滯洪重力式排放至區外排水路，降低營運風險

圖 23 滯洪池與排水設置

(二) 土方平衡（資源再利用）

開挖之土石方暫置於工區周圍，剩餘土石方無外運，暫時之土石方作為第三跑道計畫整地填築使用，工程餘土減少外運減碳量約 0.12 萬 t-CO₂e（圖 24）。

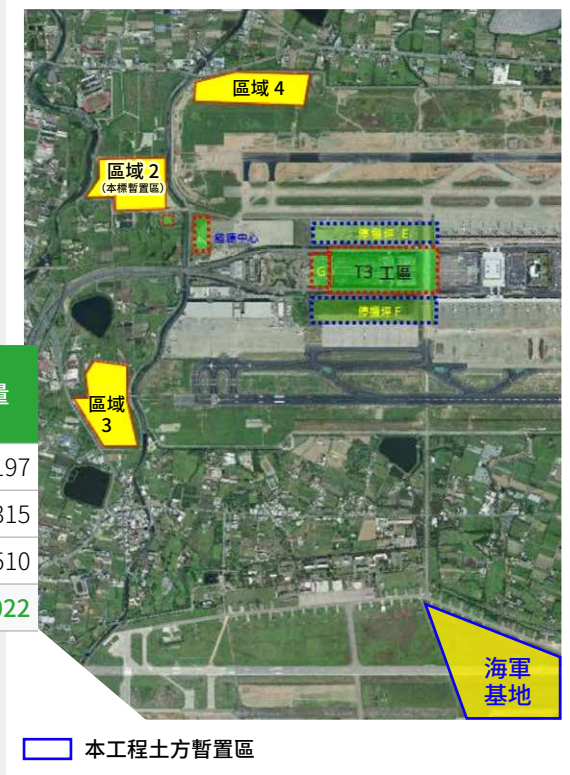
土方平衡（資源再利用）

- 剩餘土石方約 22 萬立方公尺（APM 深開挖變更後有增量），規劃機場園區區域 2 及鄰近海軍基地為餘土暫置場
- 暫置土方作為第三跑道計畫整地填築使用，資源再利用並減少土方搬運之環境衝擊
- 運土路線使用專用區內施工便道，不影響對外交通

各填土區規劃填土狀況及數量一覽表

項次	區域編號	原地面高度 (GL:)	限建高度 (EL:)	規劃填土高度 (EL:)	土體高度 (m)	基地面積 (m ²)	可填土方量 (m ³)
1	2	21.0~25.0	30.4~44.5	28.0~29.0	5.0	110,910	509,197
2	3	30.8~34.5	41.0~52.4	37.4~38.8	3.4~6.0	117,125	444,315
3	4	18.0~19.0	22.0~34.8	22.0~28.4	3.2~10.0	124,900	718,510
合計						352,935	1,672,022

- ★工程餘土減少外運減碳量約 **0.12** 萬 t-CO₂e
- ★相當於 **3** 座大安森林公園碳吸附量 / 年



土方平衡（資源再利用）>>> 減碳量約 0.12 萬 t-CO₂e

圖 24 土方平衡（資源再利用）

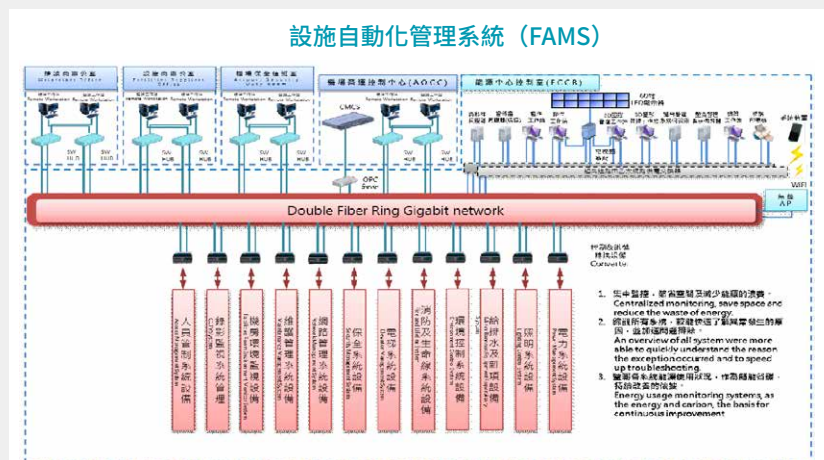
(三) 照明系統節能設計

照明控制納入設施自動化管理系統 (FAMS) 之 LCS 子系統集中控制, 287 套 400W LED 投光燈 (交替減半) 與複金屬投光燈比較, 每天開燈 12 小時, 每年可節省約 31 萬度電; 每年減碳量約 154 t-CO₂e

(圖 25), 相當 0.4 座大安森林公園碳吸附量 / 年; 另可調整亮度或燈具啟用數量, 於空側低度活動期間達成節約能源目的。

照明系統節能設計

- 照明控制納入設施自動化管理系統 (FAMS) 之 LCS 子系統集中控制
- 可調整亮度或燈具啟用數量, 於空側低度活動期間達成節約能源目的
- 287 套 400W LED 投光燈 (交替減半) 與複金屬投光燈比較, 每天開燈 12 小時, 每年可節省約 31 萬度電



- ★ 燈具節能每年減碳量約 **154 t-CO₂e**
- ★ 相當於 **0.4** 座大安森林公園碳吸附量 / 年



照明系統節能設計 >>> 每年減碳量約 154 t-CO₂e

圖 25 照明系統節能設計



(四) 機場飛安前提，標本兼治、多管齊下防範鳥擊

於機場安全管理 SMS 系統中，成立野生動物防制分組並委託桃園市野鳥學會進行鳥相

調查，對飛航安全而言，不同鳥類由於體型、數量、習性有不同程度影響，因此針對威脅飛安的鳥種進行調查，以驅離替代撲殺及架設鳥踏，防範飛鳥飛入（圖 26）。

機場飛安前提， 標本兼治、多管齊下防範鳥擊

制度面

- 委託桃園市野鳥學會進行鳥相調查
- 於機場安全管理 SMS 系統中，成立野生動物防制分組

機制面

- 依調查結果之大數據分析，每月於網站公告可能威脅飛安的主要鳥種、活動區域與時間及飛行高度等資訊
- 對航務處及野生動物防制人員辦理鳥類防範教育訓練

執行面

- 全方位鳥類防範策略，如：架設防鳥刺以防範飛鳥飛入等



全方位鳥類防範 >>> 以驅離替代撲殺及架設鳥踏，防範飛鳥飛入

圖 26 機場飛安前提，標本兼治、多管齊下防範鳥擊



(五) 紅火蟻防治工作

本工程於 2017 年 7 月 1 日共設置 394 個紅火蟻偵測站，其中發現紅火蟻蟻丘發生跡象共計 13 處，經有效防治措施，並經「國家紅火蟻防治中心」勘查，於 2017 年 10 月 6

日及 2017 年 12 月 21 日來函同意解除土石方之移動管制，以防止紅火蟻危害隨營建基地之土石方擴散（圖 27）。



圖 27 紅火蟻防治工作



(六) 樹木移植落實

本工程開工前，針對航站南、北路行道樹已先行辦理樹木移植；定植工程完工後 2 年內存活率達 95.8%，確保樹木妥善移植並順利生長，符合環評承諾須達 80% 存活率目標（圖 28）。

生態保育 / 復育程度（樹木移植）

- 本工程開工前，針對航站南、北路行道樹已先行辦理樹木移植。
- 定植後 2 年內存活率達 95.8%，確保樹木妥善移植並順利生長，符合環評承諾須達 80% 存活率目標。



榕樹移植復育成果

樹木存活率統計表

樹木 定植單位	位置	數量（棵）		
		榕樹	印度橡膠樹	合計
桃園縣政府大園南港村辦公	區外	112	0	112
桃園縣政府農業局 -a 龍潭區銅鑼圈段 1164-4 地號山坡地				
龍潭區陸軍總司令部	區外	504	44	548
楊梅區陸軍 269 旅	區外	100	0	100
華航諾富特飯店	區內			
移植數量		836	45	881
存活總數（完工估驗後 2 年）		804	40	844
未存活樹木數		32	5	37
存活率 = (存活總數 / 移植總數)		96%	89%	95.8%

★ 樹木移植 **881** 棵
★ 平均存活率達 **95.8%**

減樹木移植 >>> 確保樹木妥善移植並順利生長

圖 28 樹木移植落實

三、防災與安全

(一) 地下輸油管防蝕防災處理

本工程採用外加電源法，避免捷運軌道雜散電流影響設置油管防蝕；另北側機坪設置 120 公尺深井式鈦金屬線性陽極，整流變壓器輸出直流電壓 20V ~ 40V，輸出端連接至地床陽極（圖 29）。



施工安全之預防

地下輸油管防蝕防災處理

- 避免捷運軌道雜散電流影響設置油管防蝕，本工程採用**外加電源法**
- 北側機坪設置 120 公尺深井式鈦金屬線性陽極，整流變壓器輸出直流電壓 20V~40V，輸出端連接至地床陽極

防蝕型式	防護範圍	適用環境
外加電源法	輸出電流大，可保護大面積管線，本工程僅需設置一處深井陽極，利於維護	可調節整流器輸出適用電壓電流，適用於不同電阻係數環境
犧牲鎂陽極法	保護範圍小，固定間距需設置鎂陽極，維護需求較大	適用低電阻環境，無法調節電流



地下輸油管防蝕防災處理 >>> 避免捷運軌道雜散電流影響設置油管防蝕

圖 29 地下輸油管防蝕防災處理

(二) 全工區設置遠端即時監控攝影 (CCTV)

於工區出入口及重要施工地點架設，可透過手機 APP 及電腦可即時監看，隨時掌握現場施工及監看工區情形，達全員工安，工安零死角（圖 30）。

(三) 動態高風險項目評估、傳遞、管理、控制及執行

設計單位針對各項施工風險進行評估，分析潛在危害，並預擬可行的因應對策，據以發展安衛數量與圖說，合理編列安衛費用，降低施工風險，俾達成保障勞工安全

與健康，整體工程順利進行之目標。於開工前，設計階段施工安全風險評估報告書將傳遞予廠商，以利其研提施工安全風險控制對策計畫。

在施工風險管理方面，除將設計階段風險評估報告書交付廠商外，並召開施工前說明會，將殘餘風險傳遞予現場所有人員，以確實注意施工安全。此外，監造單位每月召開高風險工項管控會議，逐漸檢討並管制高風險工項，同時滾動檢討殘餘風險、新增風險與動態風險，強化管制作為，以達施工零災害目標（圖 31）。

運用遠端視訊系統進行工區

- 品質
- 安全衛生
- 進度
- 成本控制
- 突發狀況

等五大項目進行專案督導及技術諮詢



利用 Line 群組公告



高階主管值勤
品質及職安督導

公司 & 工務所
即時雙向溝通

檢視
施工進度

追蹤
應改善事項

全工區設置遠端即時監控攝影 (CCTV) >>> 達全員工安，工安零死角

圖 30 全工區設置遠端即時監控攝影 (CCTV)

施工風險管理

施工風險
再評估作業
(施工廠商)

每月辦理檢討

施工風險
再追蹤
(監造單位)

施工階段

- 設計階段 - 設計單位設計階段風險評估報告書
- 施工階段 - 監造單位安全衛生監督查核計畫
施工廠商施工安全風險控制對策計畫

高風險作業

設計風險傳遞

施工廠商
風險評估

施工前說明會
(再評估)

高風險作業
結束申請

廠商高風險
作業檢查

高風險會議
(再確認)

廠商高風險
作業申請

高壓電力改接、油管吊掛作業與除鏽補漆、
高桅桿燈安裝測試與補漆等工項

- 每月召開高風險管制會議
- 是否有殘餘風險、新增風險
- 施工中動態風險檢討追蹤列管

施工零災害

施工風險 >>> 採動態高風險項目評估、傳遞、管理、控制及執行

局限空間作業安全防護

1

作業前申請
及通報

2

勤前教育

3

作業前檢點及
通風換氣 (連續)

4

氣體偵測 (連續)

5

人員進出管制
設置監視人員

1. 高風險作業申請及線上通報

局限空間/特殊危險作業許可申請書
申請單位: 亞細亞火油有限公司 (亞細亞火油) 申請日期: 112年12月3日
申請地點: 桃園市大園區航空南路9號附近
申請人: 楊貴厚
申請人電話: 0910163506
申請人電子郵件: michelle.yang@bes.com.tw
申請日期: 2023-12-03-2023-12-09
備註:

勞動部職業安全衛生署 <doms@ms2ap.osha.gov.tw>
查詢: michelle.yang

通報成功, 我們會盡快為您處理, 謝謝。

區域: 北區職業安全衛生中心

危險作業類別: 其他局限空間作業

事業單位名稱: 中華工程股份有限公司

承攬作業單位名稱: 弘訊科技股份有限公司

作業工程名稱: 桃園國際機場第三航站區機坪、通行邊及機坪設施工程

現場作業地址: 桃園市大園區航空南路9號附近

聯絡人姓名: 楊貴厚

聯絡人電話: 0910163506

電子郵件: michelle.yang@bes.com.tw

施工期限: 2023-12-03-2023-12-09

備註:



2023/12/03

3. 作業前檢點及通風換氣 (連續)

局限空間/特殊危險作業許可申請書
申請單位: 亞細亞火油有限公司 (亞細亞火油) 申請日期: 112年12月3日
申請地點: 桃園市大園區航空南路9號附近
申請人: 楊貴厚
申請人電話: 0910163506
申請人電子郵件: michelle.yang@bes.com.tw
申請日期: 2023-12-03-2023-12-09
備註:

勞動部職業安全衛生署 <doms@ms2ap.osha.gov.tw>
查詢: michelle.yang

通報成功, 我們會盡快為您處理, 謝謝。

區域: 北區職業安全衛生中心

危險作業類別: 其他局限空間作業

事業單位名稱: 中華工程股份有限公司

承攬作業單位名稱: 弘訊科技股份有限公司

作業工程名稱: 桃園國際機場第三航站區機坪、通行邊及機坪設施工程

現場作業地址: 桃園市大園區航空南路9號附近

聯絡人姓名: 楊貴厚

聯絡人電話: 0910163506

電子郵件: michelle.yang@bes.com.tw

施工期限: 2023-12-03-2023-12-09

備註:



2023/12/03

4. 氣體偵測 (連續)

局限空間/特殊危險作業許可申請書
申請單位: 亞細亞火油有限公司 (亞細亞火油) 申請日期: 112年12月3日
申請地點: 桃園市大園區航空南路9號附近
申請人: 楊貴厚
申請人電話: 0910163506
申請人電子郵件: michelle.yang@bes.com.tw
申請日期: 2023-12-03-2023-12-09
備註:

勞動部職業安全衛生署 <doms@ms2ap.osha.gov.tw>
查詢: michelle.yang

通報成功, 我們會盡快為您處理, 謝謝。

區域: 北區職業安全衛生中心

危險作業類別: 其他局限空間作業

事業單位名稱: 中華工程股份有限公司

承攬作業單位名稱: 弘訊科技股份有限公司

作業工程名稱: 桃園國際機場第三航站區機坪、通行邊及機坪設施工程

現場作業地址: 桃園市大園區航空南路9號附近

聯絡人姓名: 楊貴厚

聯絡人電話: 0910163506

電子郵件: michelle.yang@bes.com.tw

施工期限: 2023-12-03-2023-12-09

備註:



2023/12/03

人員姓名	進入時間 (時/分)	退出時間 (時/分)	備註
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	
楊貴厚	08:15	10:30	

施工主務: 楊貴厚 安全監督員: 楊貴厚 作業主管(限執照作業主管): 楊貴厚

高風險作業管制 >>> 高風險作業列管, 嚴密管制迄今無職災事件

圖 31 動態高風險項目評估、傳遞、管理、控制及執行

(四) 智慧型越界偵測即時監控系統

25-7 灌排改道拆除既有保安圍籬之保安管制替代方式暨空側管制區內營運中滑行道避免施工越界及人員防制，警戒驅離範圍發現入侵人員車輛，自動以聲音警告驅離並輔以驅離警示燈閃爍，達到有效嚇阻入侵人員車輛之動作（圖 32）。

(五) 每日勤前教育與熱危害防制

每日辦理勤前教育（工具箱會議）：依據「交通部施工安全即時管理系統」進行出工回報（包含未出工時），及辦理危害告知宣導及施工前作業檢查，讓工班了解應遵守事項。另工區位於機場空側範圍大，且無遮掩物，因此工區滾動設置勞工休息區、熱危害指數告示牌、桌椅、急救箱、飲用水及話梅或電解質（食鹽水）（圖 33）。

25-7 灌排改道拆除既有保安圍籬之保安管制替代方式：

- 以攝影機全時段自動偵測警戒驅離範圍內人員車輛是否入侵。
- 警戒驅離範圍發現入侵人員車輛，自動以聲音警告驅離並輔以驅離警示燈閃爍達到有效嚇阻入侵人員車輛之動作。

避免施工期間影響航空保安管制措施。



智慧型越界偵測監控 >>> 自動聲音警告有效嚇阻入侵人員車輛

圖 32 智慧型越界偵測即時監控系統



設置遮陽、水霧降溫



掃描 QR-code，水霧降溫



熱危害指數告示牌



休息區擺放飲用水



休息區擺放急救箱、桌椅



定期補充水分

熱危害防制 >>> 工區滾動設置勞工休息區

圖 33 每日勤前教育與熱危害防制

(六) 汛期工地防災機制作業

監造單位督導施工廠商每月執行防汛自主檢查，並填寫自主檢查表。遇陸上颱風警報發布或豪大雨時，立即巡檢工區排水系統，並落實防範及防颱措施，同時備妥相關設備，

以執行緊急狀況搶修並留存紀錄。汛期前辦理防災、防汛緊急應變演練，加強防災意識及處置能力（圖 34）。



監造檢查防汛設施



監造檢查防汛設施



防汛防災緊急應變演練



防汛防災緊急應變演練



凱米颱風來襲前防汛檢查

汛期防災 / 防災應變演練

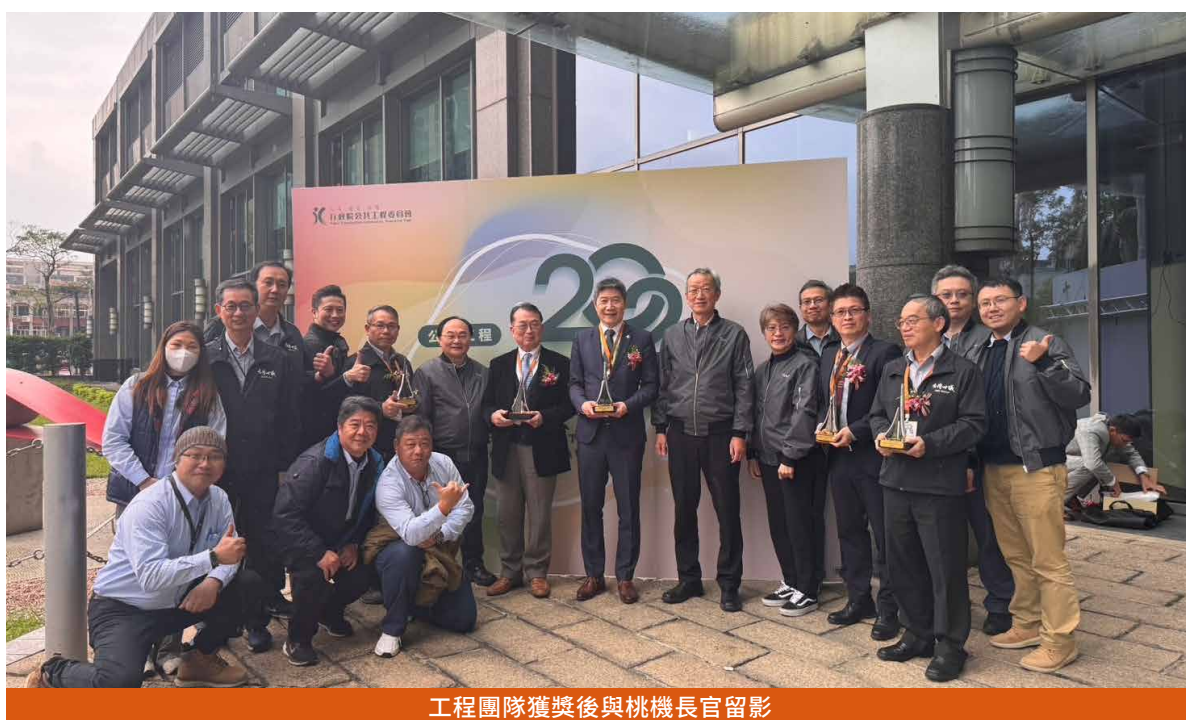
圖 34 汛期工地防災機制作業



工程團隊獲頒金質獎領獎



廖總經理領混凝土優良獎特優



工程團隊獲獎後與桃機長官留影



F 機坪完成後當過夜機坪使用

陸、結語

在機場內施工須面對嚴格的限制與管制。人員需申辦施工證、車輛駕駛證及車證，進出工區須經管制哨檢查，載運物料需有放行條，吊掛作業亦受航高限制。工作出入極為不便，故招募工班不易；若需穿越跑道（滑行道），更需持有 A 證與塔台呼叫，且基地內管線錯綜複雜，經常挖到不明管線，為避免影響機場營運，施工單位必須立即搶修完成。加上機場風勢強勁，必須嚴防物料或雜物被吹入航空器運行範圍，以免產生外來物損傷，危及飛安。因此，空側施工需格外謹慎，處處防範。

機坪標工程均在戶外作業，土方工程常受天候影響。冬季東北季風夾帶雨勢，為了配合工進安排，人員須穿著厚重外套與雨衣趕工，常因連續施工，有些工人因此感冒無法出工，導致現場人力吃緊，仍然咬牙硬撐，把工作完成。夏季炎熱，工人們頂著烈日作業，混凝土澆注屬連續性作業，僅能於料車進場空檔進入勞工休息區暫時休息補充水分。若拌合場供料不順，工人必須加班，確保澆置、收面與掃紋完成。收面作業結束後，需等待 4 個小時後，開始進行澆置後板塊的預裂鋸切，往往直到凌晨一點才收工，隔天又得早起接續下一個工作，工作非常辛苦。

本工程歷經疫情影響、俄烏戰爭原物料上漲，以及缺工缺料與主體航廈 3 次發包流標等挑戰，工進推動不如預期，卻仍須配合主體航廈要徑工程趕工及維持機場公司航務需求，透過不斷地工地協調與施工介面整合，與關連標間辦理施工工序協調與施工場地交付，增加工程困難度。工程團隊上下一心，協助廠商妥善安排工序與工地資源整合，為

掌握施工期程及降低關聯標界面衝突，除於例行性施工協調會外，並主動不定期邀集相關單位及施工協力廠商，現勘討論施作方式及因應處理對策，以提供解決困難方式，並達成機坪部分驗收交付機關使用任務。

機坪標工程先後參選「113 年混凝土優良工程」、「第 24 屆公共工程金質獎」及「美國混凝土學會（American Concrete Institute, ACI）之 Project Award 競賽」均能獲得優勝獎項，實屬不易，本專案監造同仁及設計部門運土部從一開始報名資料準備，填送參選申請書，簡報製作及現場停留點安排場地整理等，充分配合機關黃處長安排及召開數十次討論會議與現場會勘、演練等，全力協助廠商共同準備，終達成目標，獲得殊榮。

參考文獻

1. 社團法人中華鋪面工程學會 - 會刊第 22 卷第 3 期，第三航廈機坪設計 - 42 萬平方公尺道面工程（2024）。
2. 中華民國道路協會 - 中華道路季刊第 63 卷第 2 期，「臺灣桃園國際機場第三航站區建設計畫之新建機坪及滑行道鋪面施工挑戰」（2024）。
3. 中華工程股份有限公司，工程圖輯編撰（2024）。
4. 「臺灣桃園國際機場第三航站區機坪、滑行道及機坪設施工程」第 24 屆公共工程品質優良獎簡報及推薦表（2024）。
5. 臺灣桃園國際機場第三航站區機坪、滑行道及機坪設施工程施工規範。

打造陸空轉運核心及生活樞紐 ——桃地中壢站整體規劃

關鍵詞 Keywords

鐵路地下化計畫 Railway Underground Project

交通轉運樞紐 Transportation Hub

多功能生活中心 Multifunctional Living Center

台灣世曦工程顧問股份有限公司
鐵道部

工程師

黃瑜琛

主任工程師

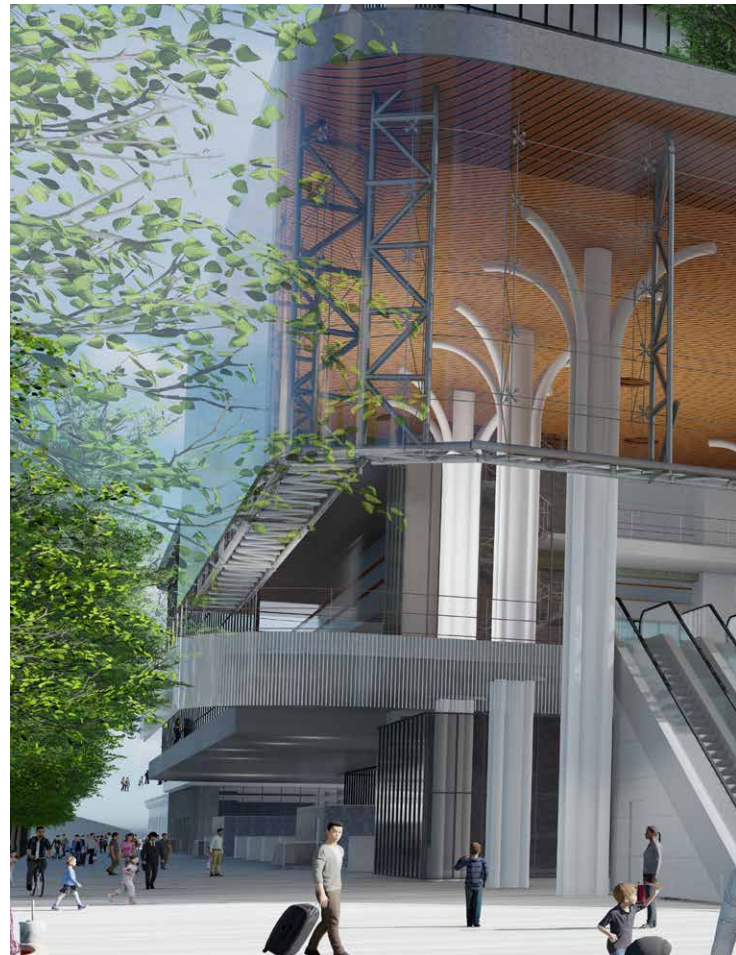
陳弘朗

副理

張正欣

資深協理

歐文爵



桃園都會區近年快速發展，鐵路旅運需求大幅提升。原本規劃以高架化方式推動鐵路立體化工程，但考量沿線景觀及噪音衝擊過大，最終轉為地下化方案。全案地下化長度約 17.945 公里，除了將既有的桃園、內壢及中壢 3 座車站地下化外，還將增設鳳鳴、中路、桃園醫院、中原及平鎮 5 座通勤車站。

中壢車站位於南桃園都會重心，不僅交通量龐大，也是城市記憶與地方文化的重要載體。本計畫透過地下化釋放出的地表空間，營造綠帶、廣場與公共活動場域，重建前後站的都市連結，修補鐵道造成的區域斷裂，重塑市中心的都市紋理。

中壢車站作為三心六線中之南桃園副都心，未來將整合臺鐵、捷運機場線（機捷）與捷運綠線（桃綠），形成「三鐵共構」的大型轉運中心，不僅提升轉乘通勤效率，未來透過機捷或桃綠皆可銜接至機場、桃園航空城，將形成陸空轉運核心。



設計上延續全線「桃花源記 緣溪行」的水文化、連結機場與工業區等意象，象徵人與城市空間的柔性連結，構築人本導向的都市開放空間，推動以車站為主軸之多功能生活中心。

施工規劃為配合既有軌營運，採逆打工法、二階段臨時軌切換與預留共構柱頭等多項工程策略，確保施工與鐵路營運並行，同時與未來捷運、轉運站及臺鐵開發大樓整合共構，展現高度機能整合之都會樞紐。

壹、計畫概述

近年桃園都會區快速發展，鐵路旅運需求急遽成長，既有服務設施已不敷使用，遂因應交通建設需求，桃園市以桃園、中壢及航空城為軸心，並以六條鐵路、捷運線串聯，構築成為區域整體產業及生活發展軸帶。其中，中壢車站原為臺鐵第三大運量車站，未來與機捷、桃園綠線匯集後，將成為南桃園陸空轉運核心及多功能生活中心。

長久以來，桃園市政府及地方民眾積極爭取推動桃園段鐵路立體化，2009年2月，行政院核定「臺鐵桃園段高架化計畫」後，即展開設計及施工作業。然而，高架

化計畫在辦理設計及發包施工期間，由於臺鐵內壢至中壢路段現有鐵路路廊較為狹窄，須局部徵收土地及辦理拆遷而衍生民眾抗爭，致使土地取得作業無法如期，高架化計畫進度落後。

桃園市政府鑒於鐵路路廊寬度不足，且高架化後將對桃園、中壢都會區沿線造成景觀與噪音衝擊，再加上桃園市作為國家門戶並已升格為直轄市，為兼顧宏觀願景與永續發展之百年大計，遂因應地方民眾訴求，將原鐵路高架化建設調整為地下化。此地下化綜合規劃已於2020年9月經行政院核定。

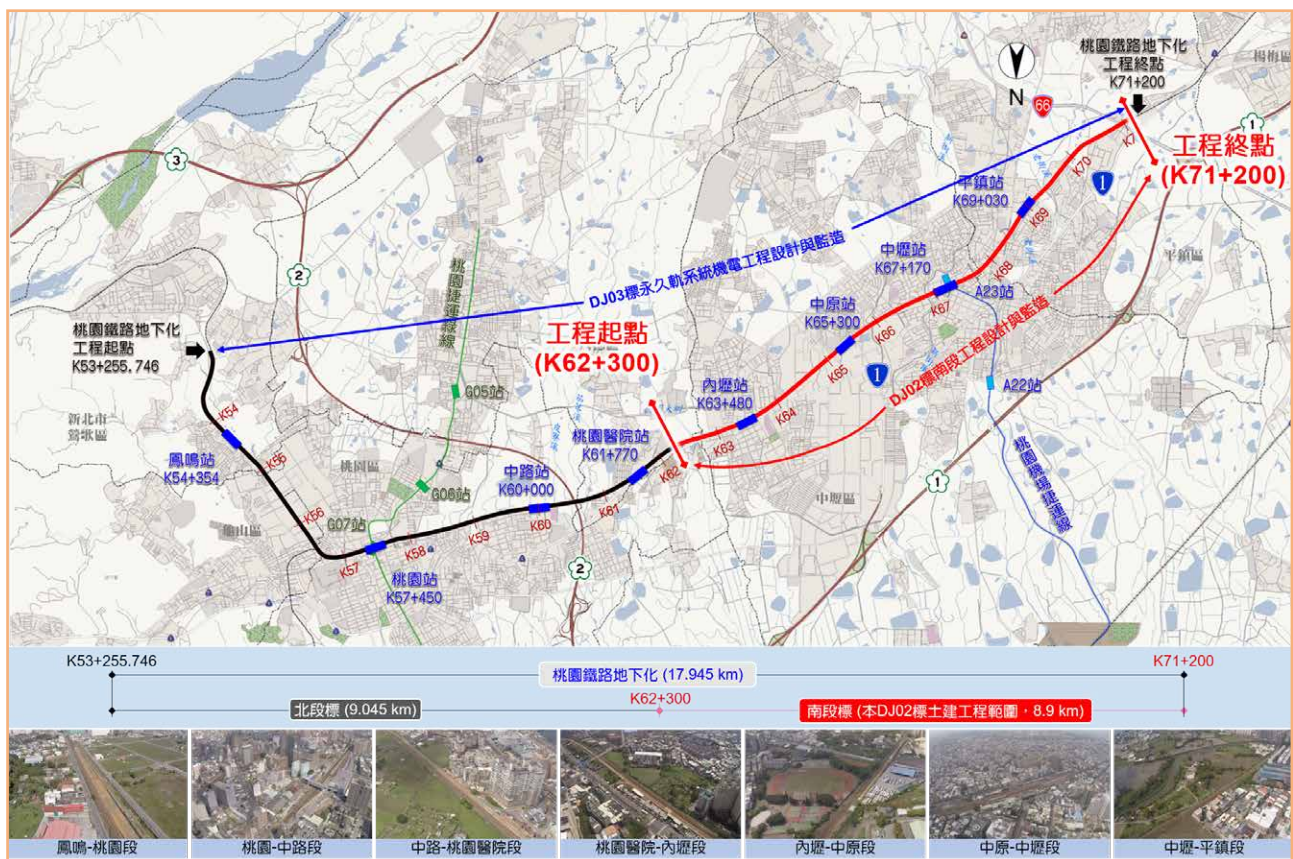


圖 1 計畫範圍

桃園鐵路地下化範圍北起新北市鶯歌區鳳鳴陸橋北側，南至桃園市平鎮區台 66 線南側，路廊全長約 17.945 公里；設計標分為兩標，分別為北段 DJ01 標及南段 DJ02 標（詳圖 1），其中南段範圍自內壢站北端至台 66 線南側（K62+300~K71+200），沿線經過 11 處平交道、3 座陸橋、7 處地下道，全長約 8.9km。工程內容除既有內壢站與中壢站地下化外，將增設中原及平鎮 2 座通勤車站。

貳、三心六線之發展願景

「三心」指桃園機場航空城、桃園市都會區與中壢市都會區（圖 2）；「六線」則包含營運中的捷運機場線、捷運綠線、綠線中壢延伸線、捷運棕線、三鶯線八德延伸線以及臺鐵地下化，串聯為環狀軌道系統。中壢車站為一等站，將整合臺鐵、機捷與綠線，形成「三鐵共構」的大型轉運中心（圖 3）。

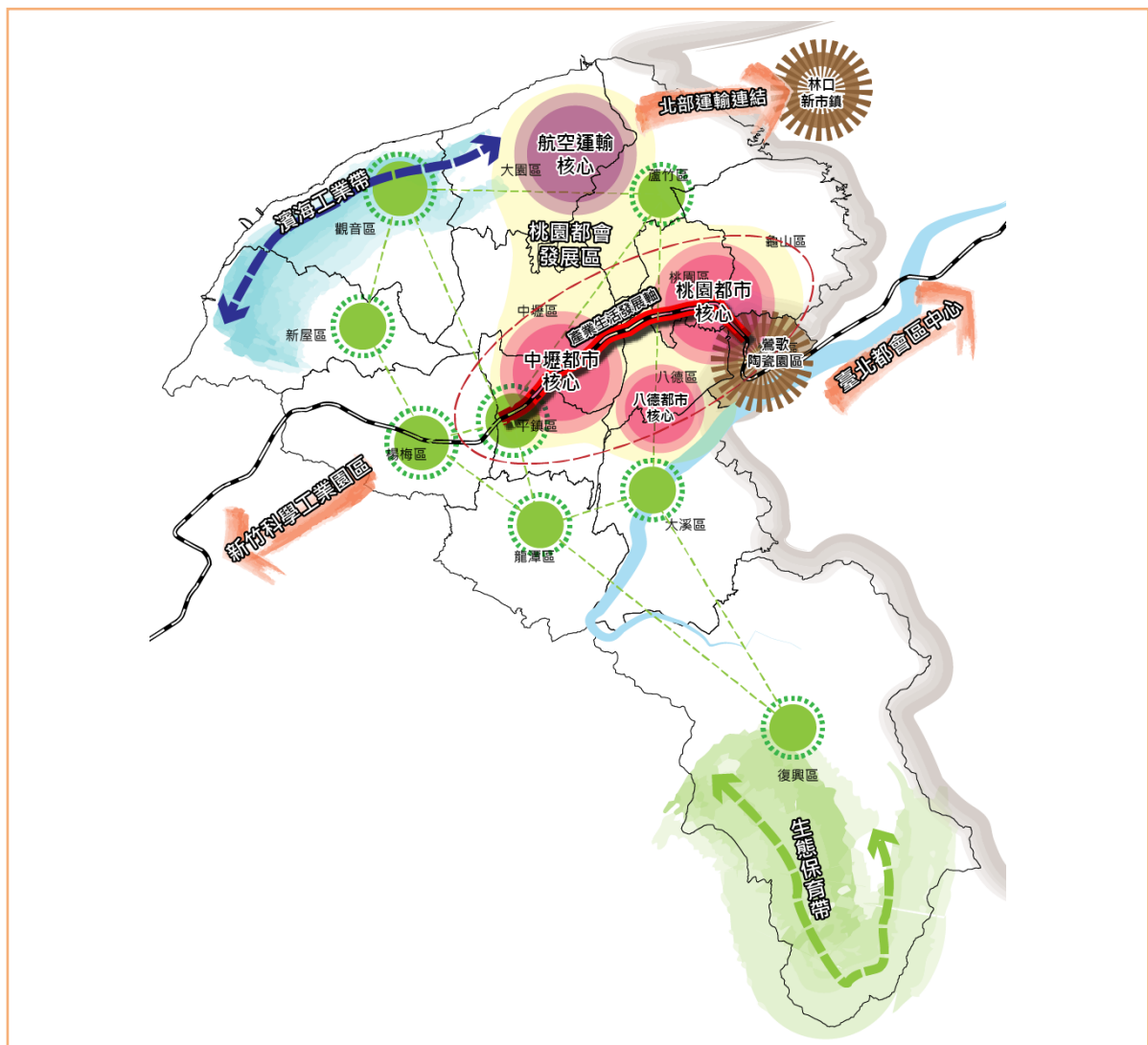


圖 2 都市空間結構及未來發展定位圖

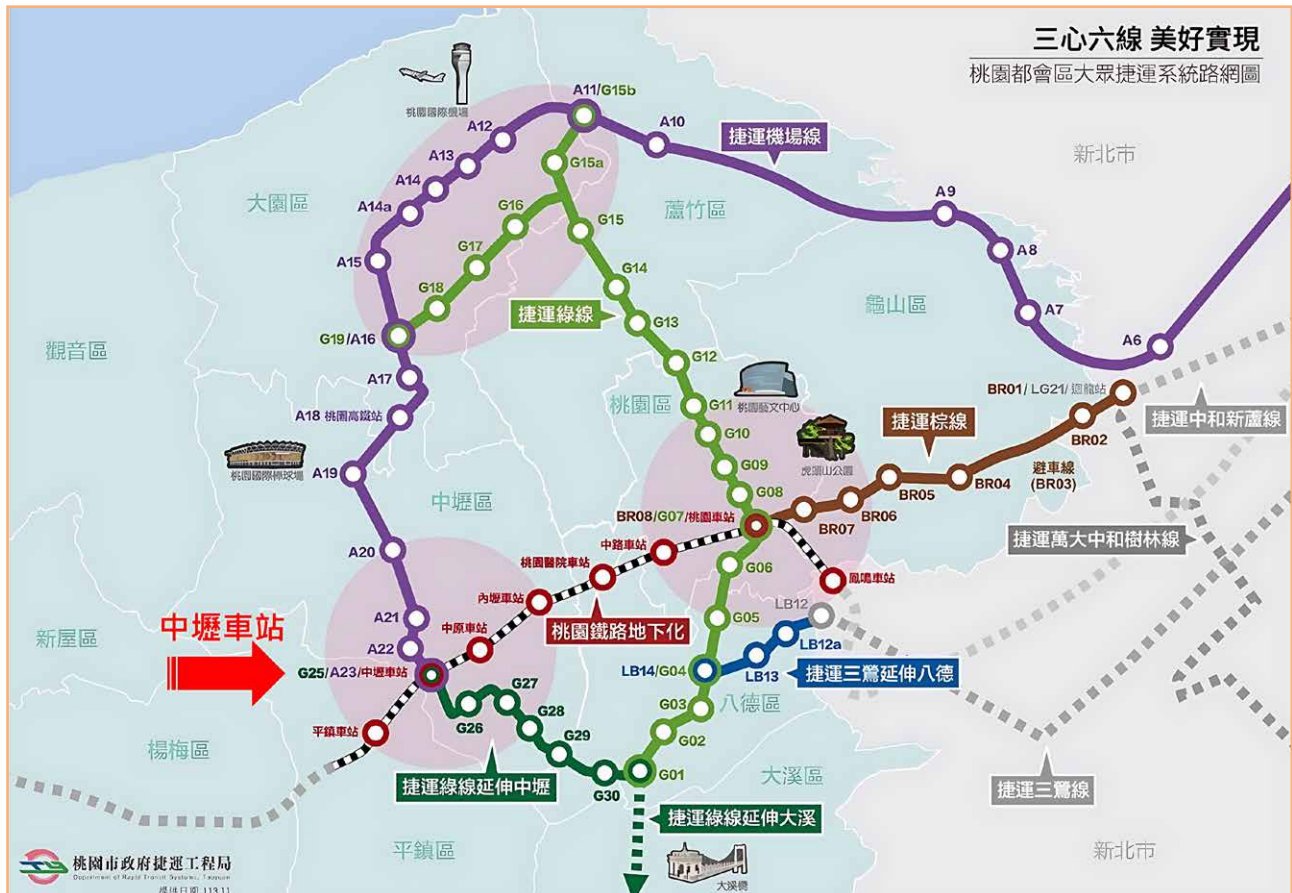


圖 3 三心六線全路線圖

資料來源：桃園市政府捷運工程局

一、沿線各站區開發潛力與發展定位

由於車站及鐵路沿線多屬臺鐵公司管有土地，且桃園、中壢與內壢站為既有車站，周邊住商活動發展活絡並具備一定運量，因此屬高潛力地區；桃園醫院及中原站周邊公共設施較完善，擁有醫院及大學城等通勤人口，屬站區土開中潛力；至於中路及平鎮站，周邊雖有相關整開計畫，但周邊發展未臻成熟，故屬低潛力車站（詳表 1）。

依據站區開發潛力評估結果，各車站可定位為三種類型：商業聚集型、特色機能型及地方生活型（詳圖 4 及表 2）。

車站	土地使用	土地權屬	腹地發展需求	周邊發展環境	不動產及車站土地開發潛力
桃園站	車專區、鐵路用地	國有（臺鐵管有）	高	前站住宅及商業使用為主，後站發展強度較低，以農作及閒置土地為主，尚有部分沿街式商業，未來將與捷運棕線轉乘	高
中路站	鐵路用地		低	北側有住宅及工業使用，南側以農業使用為主	低
桃園醫院站	鐵路用地		中	北側現為桃園醫院，住宅及沿街式商業分布於車站東側，南側為永豐高中	中
內壢站	鐵路用地		中	周邊住商活動發展活絡	高
中原站	鐵路用地		中	南側為中原大學	中
中壢站	鐵路用地		高	住商活動發展活絡	高
平鎮站	鐵路用地		低	南側農業區土地未來將透過區段徵收進行開發	低



表 2 桃園市境內各車站對應車站類型

類型	車站層級	特性	規劃原則	適宜旅運量	周邊發展潛力	旅次類型	商家規模	車站
商業聚集	車站城市 (Station City)	車站周邊已具有商圈規模及居住人口	強化既有商圈活力創造商業據點	8,000 人 / 日以上	高	通勤 商務 休閒 旅遊	各種規模混合配置 (有大型商場)	桃園 中壢 內壢
特色機能	車站城鎮 (Station Town) 車站街道 (Station Street)	車站周邊有產業群聚、特色景點或大型設施	根據鄰里特色規劃與周邊設施產生加乘效果	4,000 人 / 日以上	中	通勤 商務	中小型混合配置 (100 坪以下)	桃園醫院 中原
地方生活	車站中心 (Station Center)	車站周邊以住宅使用為主	車站為滿足日常通勤生活機能角色	2,000 人 / 日以上	低	通勤	中小型混合配置 (30 坪以下)	鳳鳴 中路 平鎮

二、周邊土地開發空間策略

鐵路地下化建設完工後，除了交通運輸機能提升外，車站周邊地區受惠於便捷的運輸服務，整體都市結構亦會隨之轉變。地方政府可藉由車站站區開發、結合車站周邊土地開發、辦理都市更新開發、變更土地使用分區或增加容積率等

方式，將車站及其周邊土地，轉變為更高價值的土地利用。

依據本計畫都市發展現況及條件，研擬車站周邊土地開發之可能方式，作為後續開發及財源挹注之依據。(圖 5)

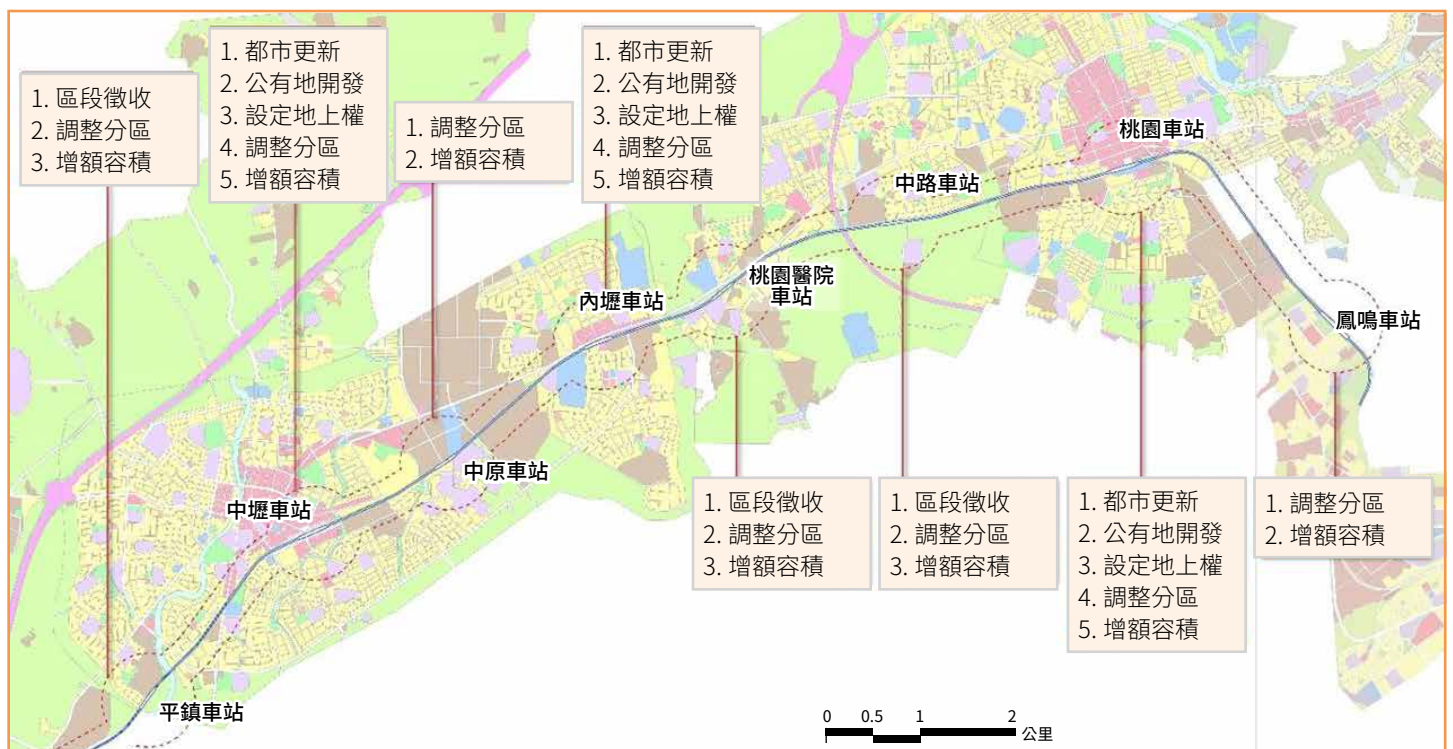


圖 5 本計畫周邊土地開發空間策略圖

三、中壢車站周邊開發潛力

(一) 商辦機能與交通轉運樞紐

未來中壢車站透過高強度站區開發及都市地標塑造，再加上與捷運機場線、捷運綠線等連通，交通相當便利，可吸引國內外企業總部與相關服務進駐，成為桃園市與國際企業的重要門戶。

由於中壢車站為捷運機場線與捷運綠線的交會點，未來將於站區內設置轉運站，並

整合前後站的大眾轉運節點，帶動站區與周邊土地活化，提升交通樞紐地位。

同時，中壢車站區亦可引入零售餐飲、休閒娛樂、創新育成、會議展覽、辦公與旅館等多元都會功能，成為商務辦公、交通轉運、生活消費及學術交流於一體的鏈結樞紐。(圖 6)

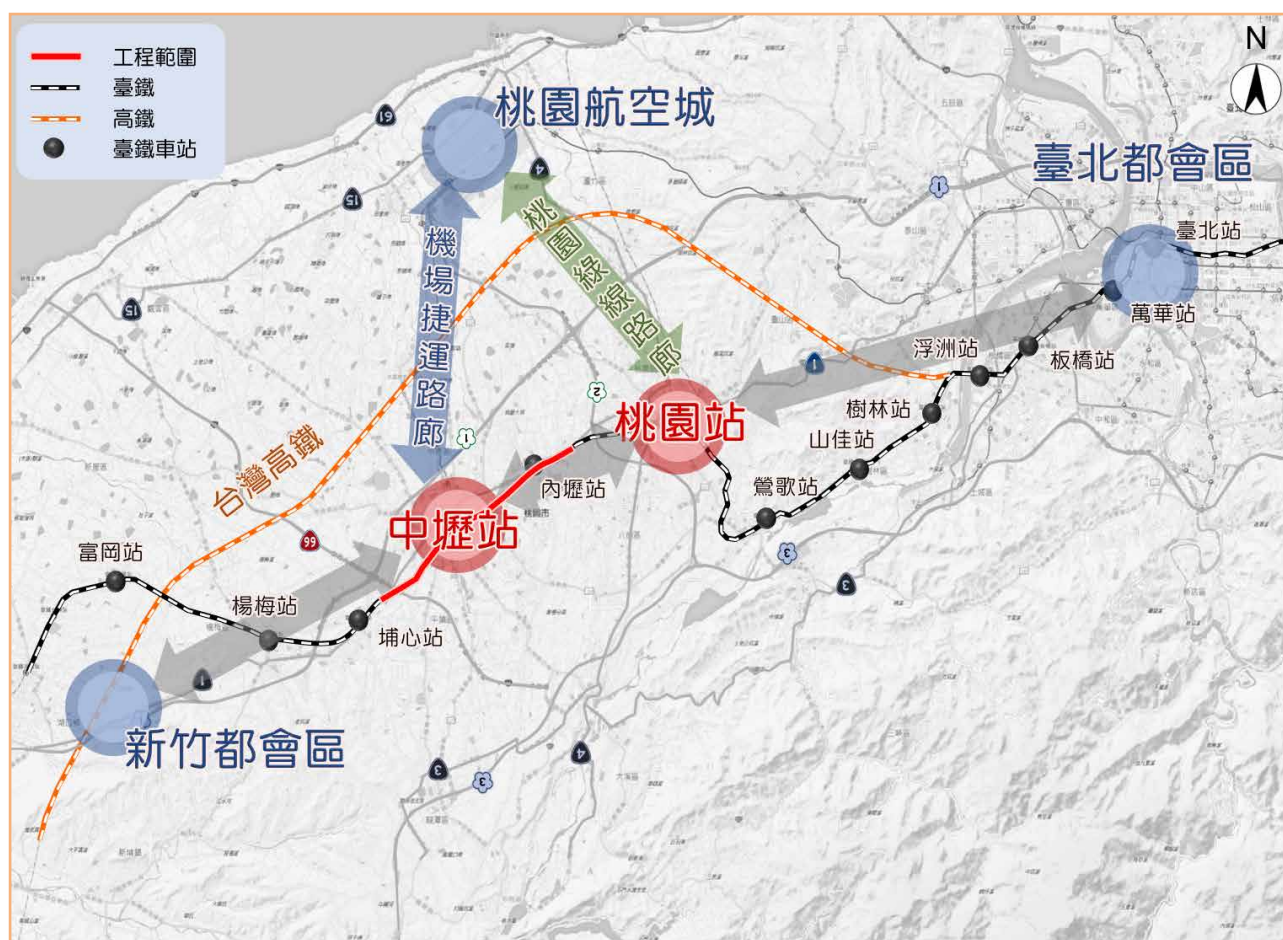


圖 6 桃園市內臺鐵系統及其服務路廊示意圖

(二) 住宅社區活化再生

中壢車站南側街廓多為老舊建物，巷道彎曲狹小，現況無論是都市景觀或防救災機能皆不佳。因應周邊捷運規劃與鐵路地下化建設契機，可望吸引不動產投資開發，

促進南側既成住宅區的都市更新。透過更新計畫，不僅能改善街道環境、完善人行與自行車系統、串連都市活動空間節點，打造多元型態的居住環境。(圖 7)

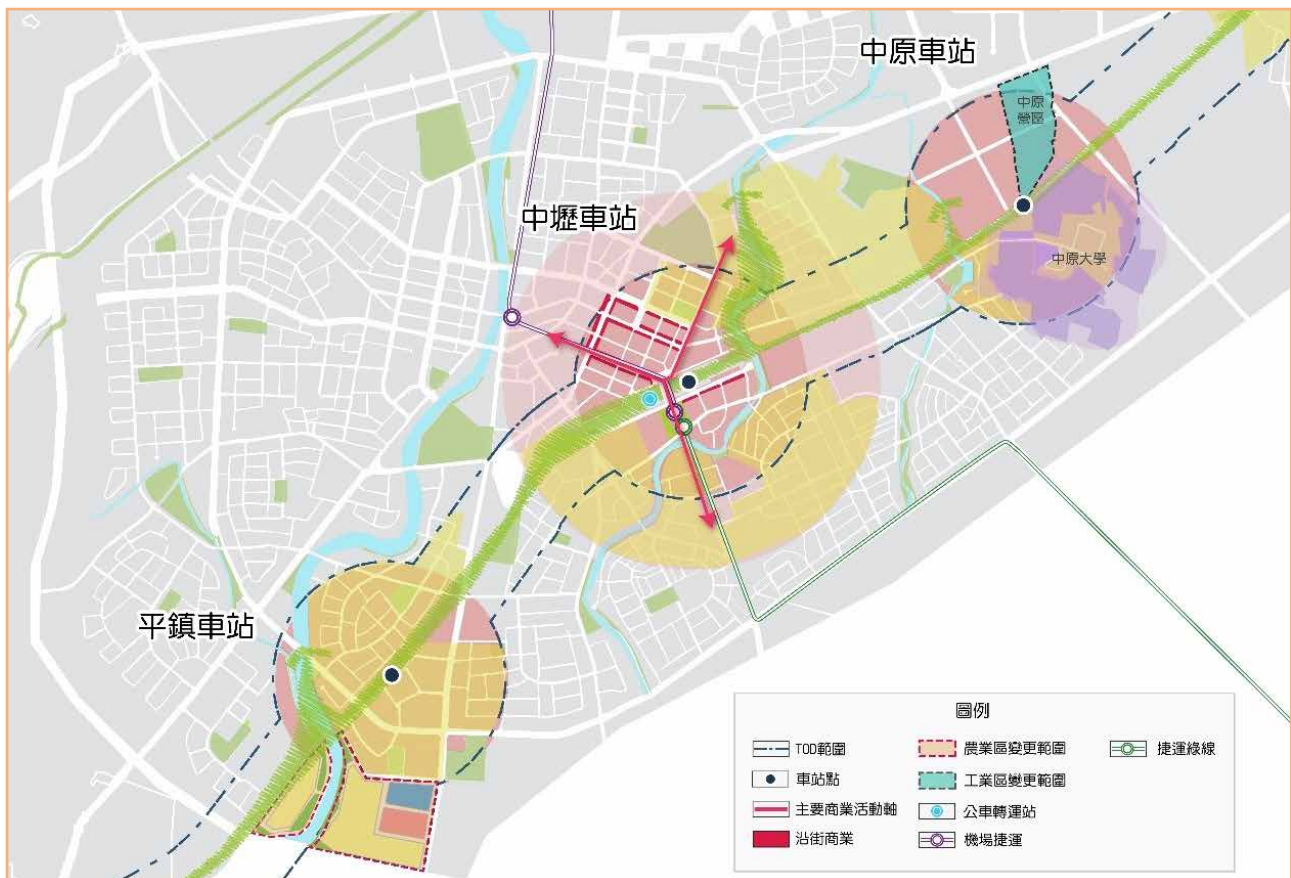


圖 7 中壢、中原及平鎮站發展構想示意圖

參、中壢車站整體規劃與設計

中壢車站作為桃園南部交通樞紐，結合臺鐵地下化、機場捷運延伸、捷運綠線（三鐵）及公車轉運站，轉型為「四鐵共構」的多功能都市核心。鐵路地下化與 TOD 導

向的都市更新帶動土地整合，車站上方及周邊將興建商辦大樓、購物中心與文化設施，創造多功能複合平台，使中壢車站區成為行政、產業與生活聚集中心。

一、建築設計概念

桃園南段延續全線以「桃花源記 緣溪行」的設計意象，以漣漪、湧泉、漫流、浸潤等水的變化狀態為主軸，構築成繁榮的桃園生活圈。鐵路地下化所釋放以人為本的都市空間，將與生活場域交融合一（圖 8）。

各車站所在鄉鎮市的特性，將水路阡陌縱橫之水位、形態等各種水的能量變化，轉

譯為車站系列設計的發展元素。在永續發展的浪潮中，成為各具特色的宜居城市！

細水蜿蜒至開闊處，順勢漫流，看似散漫無特定形狀，實則有柔軟的韌性，與包容世界的廣大胸襟。

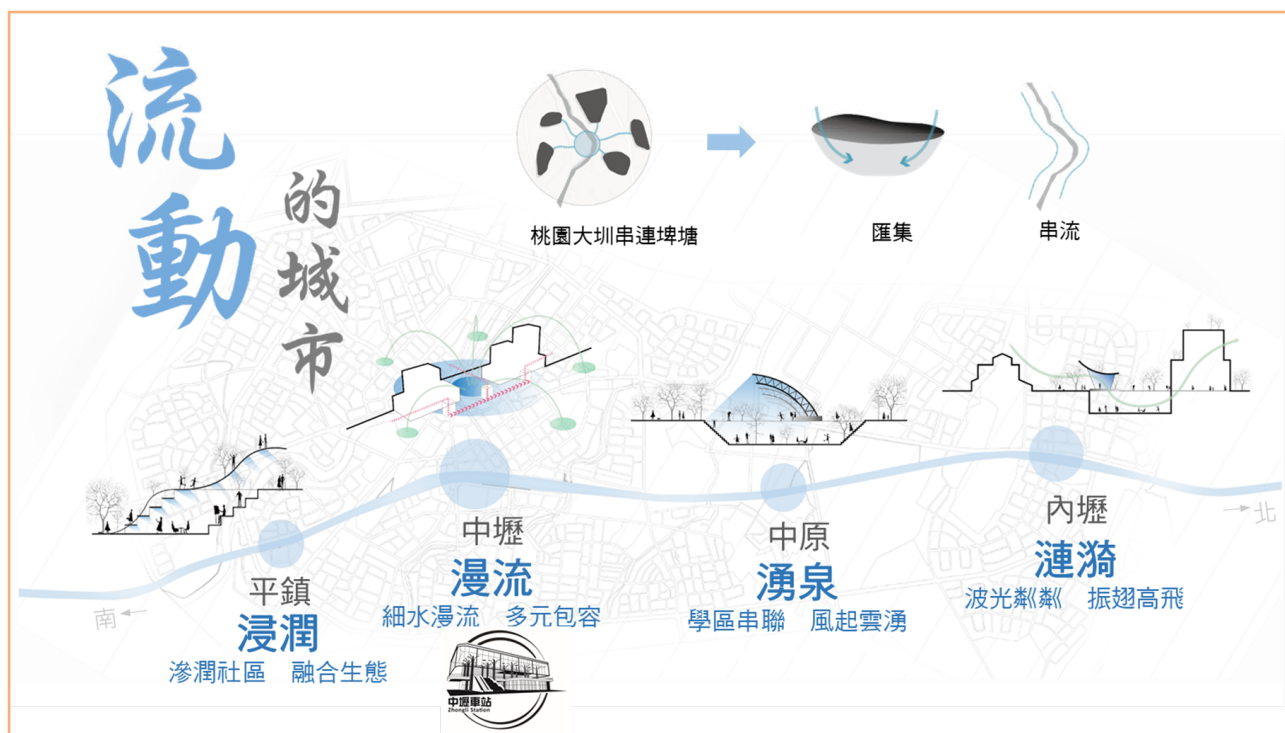


圖 8 計畫南段建築設計理念

（一）從瑣碎走向完整，中壢新一代地標印象

中壢是南桃園都會中心，傳統市區集中在車站周邊，因此除了平日大量旅客出入外，本地特色即為週末假日時，大量移工與新移民在車站周邊匯流或聚集或流動。鐵路地下化為車站釋出大量可整合空間，結合西側路廊大型綠地，是重塑城市形象、提供多元包容之開放空間的機會。

相較於中壢生活圈龐大的運作能量，既有中壢車站予人擁擠而不友善的印象，難以支撐城市網絡；藉由本計畫在市中心整合出一片完整專區，將成為中壢的新地標，承接新世代的城市印象（圖 9）。



圖 9 中壢車站建築配置設計構想

(二) 都會區的超級核心廣場——泱泱廣場

打造 80 米泱泱廣場為中壢市核心地標。將現有狹窄侷促的站前圓環與基地內新廣場合併，以整體鋪面連同馬路一起整合。遇跨年等大型活動時，可進行交通管制，作

為行人專用大廣場。在轉運站一側外牆為 50 米寬的巨型 LED 螢幕，跨年時刻，市民們隨著巨大畫面一同倒數，成為最熱血澎湃的中壢印象（圖 10）。

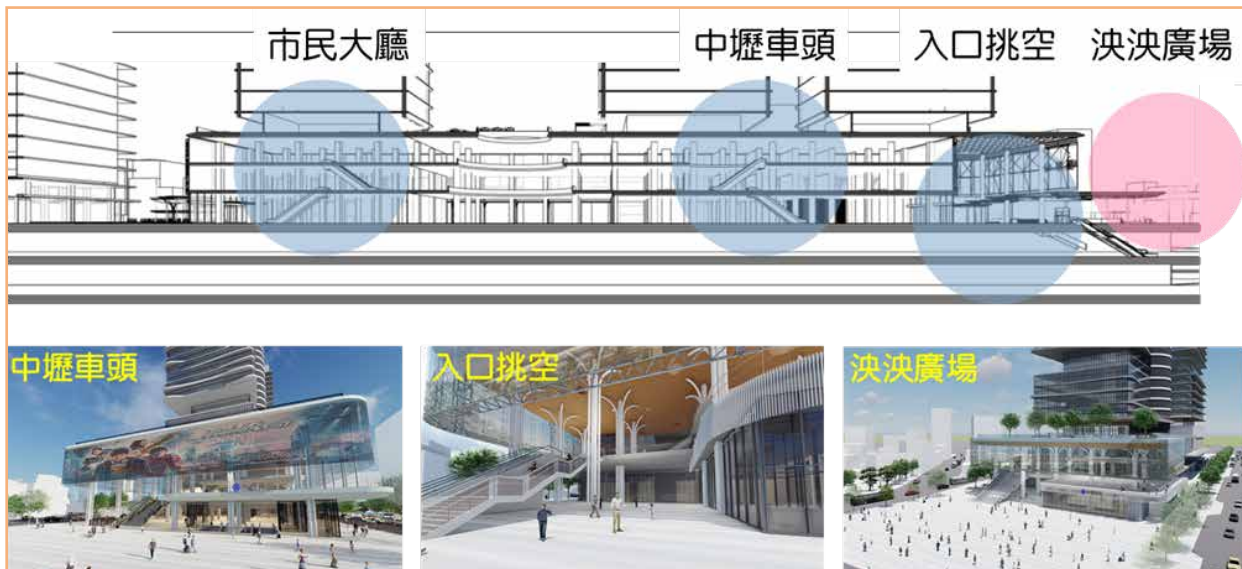


圖 10 中壢車站未來廣場意象

二、中壢車站設計構想

(一) 基地周邊及道路概況

中壢的都市發展，在站前、站後方向皆有厚度。民眾對前後站過度分隔、發展不均的抱怨已久。現有的前站中和路 10 米路幅太小、廣場擁擠、紛雜，鐵路及道路截斷了前後站連結。(圖 11)

而後車站向南視野開闊，路寬 20 餘米新興路。運用鐵路地下化優勢，建築設計將可突破原有東西向沿鐵軌的模式。承接前站匯流能量，引導其漫延至後站並擴散，使原先被鐵軌切開的城市漸漸癒合。(圖 12)



圖 11 中壢車站工程範圍現況



圖 12 中壢車站未來站區路網規劃

(二) 基地車站專用區

中壢車站基地全長約 720 公尺，寬約 80 公尺，南臨新興路，北接中和路，北向中正路、南向健行路，規劃設置地下月台車站，採二島四軌設計。前站為商業核心，聚集客運、餐飲、服飾及旅館等都會活動；中平路商圈經市府再造逐漸復甦。後站則以 4～5 層老舊住宅為主，近年新建物增加，人口密度高。

(三) 站區道路及轉運站規劃

隨著都市交通與生活型態轉變，車站空間不再只是通勤與轉乘的功能場域，更可轉化為人們日常運動與觀光的起點。以車站為核心，將站內空間與外部步道、自行車道、公園與文化據點串連，打造一條可行走、可探索、可放鬆的健康旅線。

車站不只是空間上的連結，更是生活節奏與公共設計的整合樞紐。它能將交通、運動與觀光三者無縫接軌，讓旅客在移動中運動，在抵達中深入體驗。未來若能在各大城市車站推廣此概念，將有助於打造健康、友善、生態兼具的都市旅遊新典範。

1. 車行動線

北側主要經由中和路、元化路、中正路及美樂路進出；南側主要經由新興路、健行路進出；南北兩側將新闢道路連通站區（圖 13）。

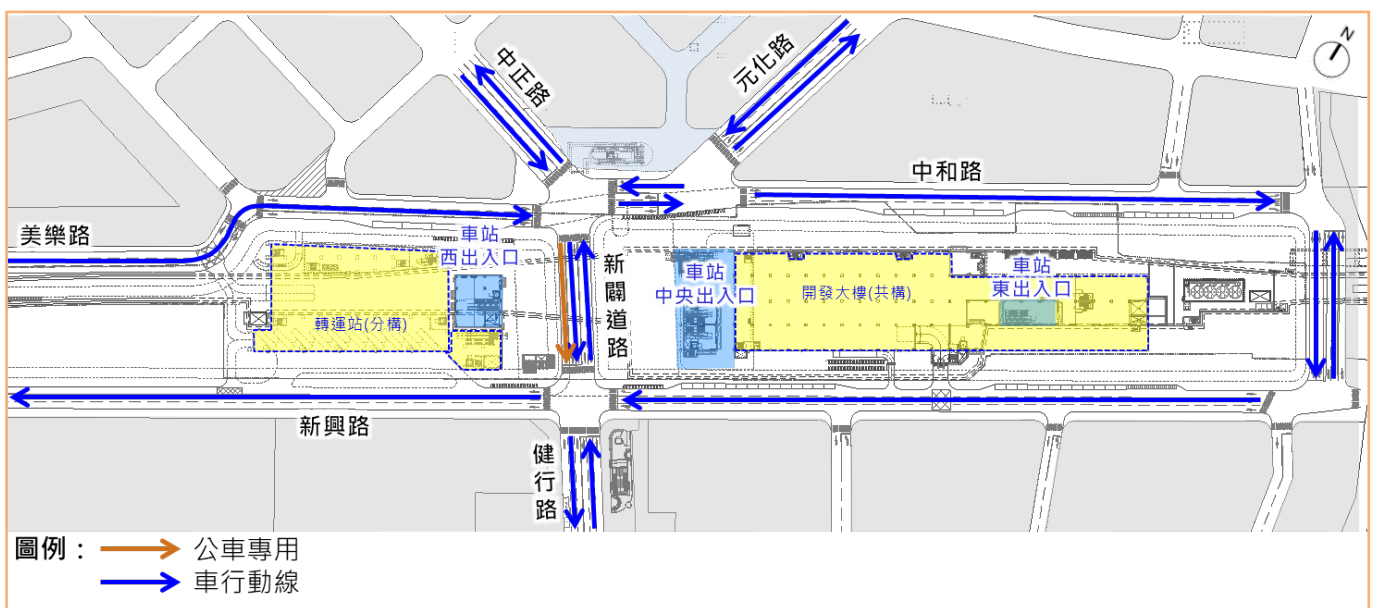


圖 13 車行動線規劃

2. 行人動線

以中和路、中正路、元化路、新興路及健行路之騎樓及人行通道為主要動線，另基地內規劃有人行空間串連路廊之人行道（圖 14）。

3. 自行車動線

以中和路、新興路與新闢道路之自行車道為主要動線。

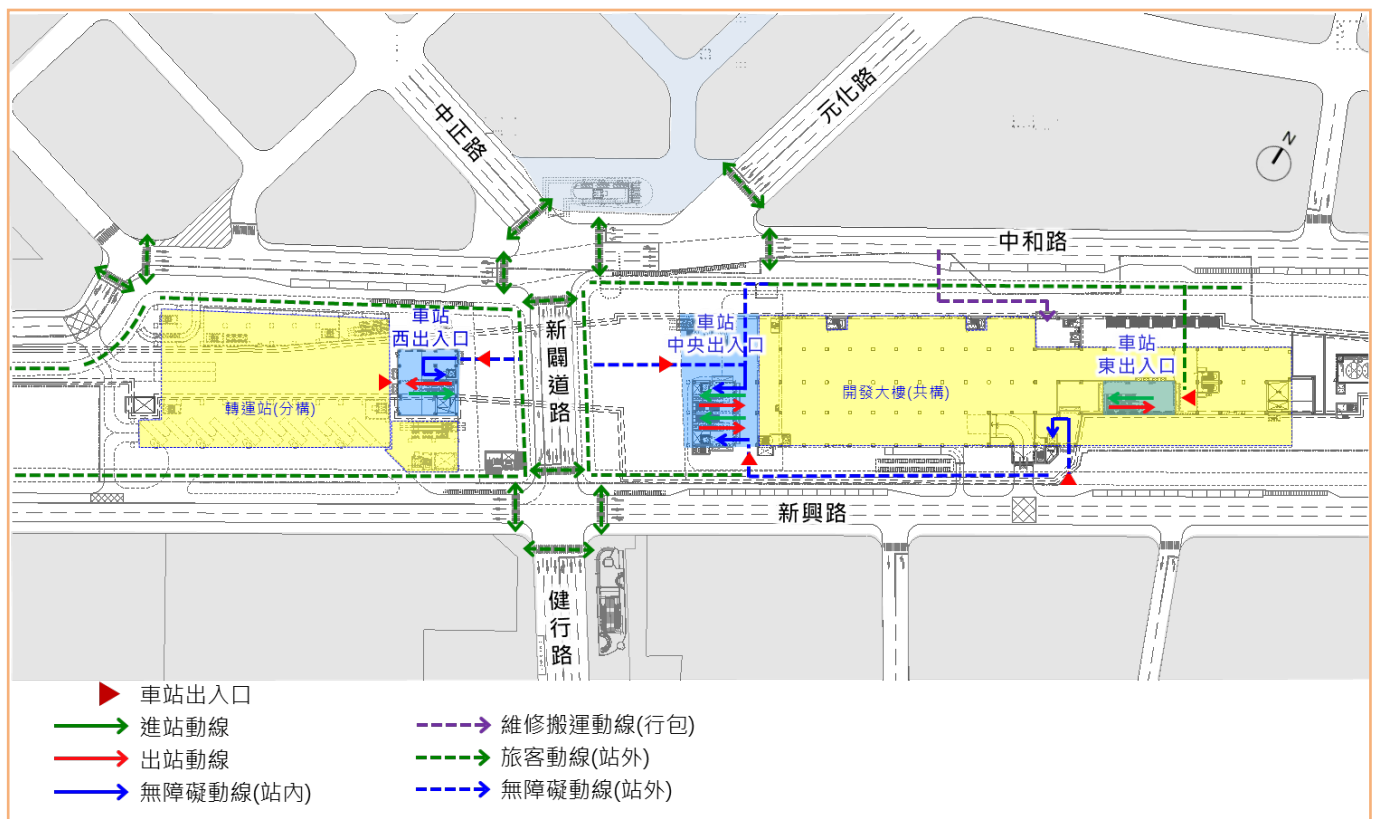


圖 14 站區人行動線規劃

中壢車站主要以中和路、新興路、健行路、中正路以及元化路為主要聯外道路，其中，中和路調整為往東單向道、新興路調整為往西單向道，站區採順時針方向繞行。為滿足旅客接駁及轉乘需求，站區周邊分別設有 10

席公車停靠區、36 席小客車臨停區、50 席機車臨停區、265 席自行車停車區，並預留 288 席 YouBike 空間，另於 B1 層設有 28 席計程車排班區。（圖 15）

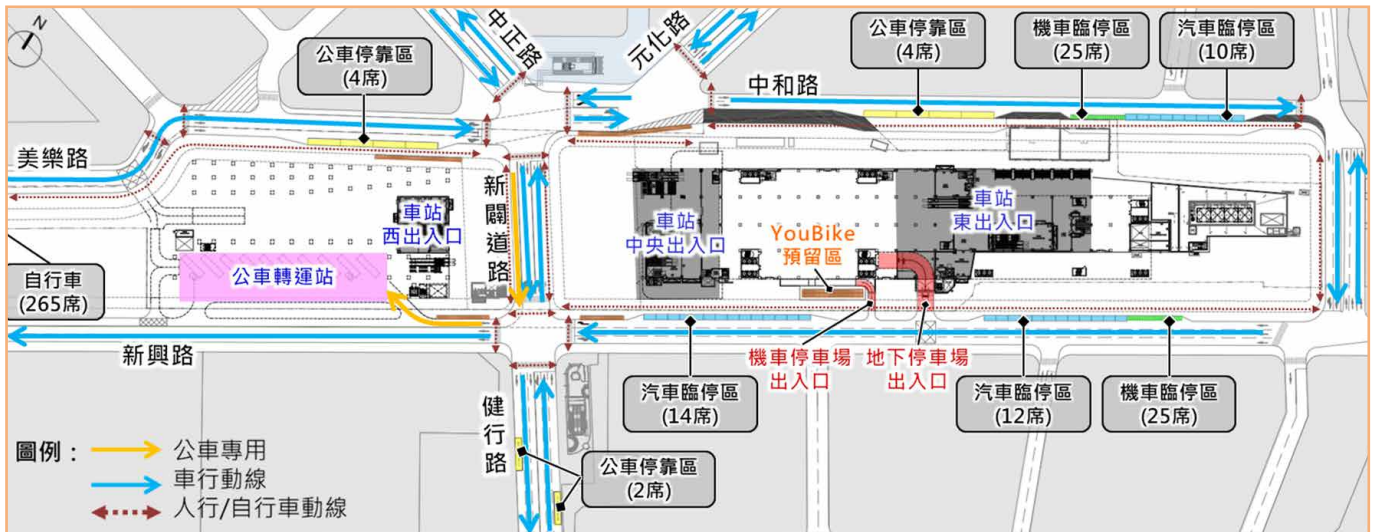


圖 15 中壢車站站區道路規劃

4. 轉運站規劃

中和路站位設有往桃園、新屋、觀音、楊梅方向之候車亭；健行路站位規劃供中壢地區路線停靠；轉運站預計納入往八德、龍潭、平鎮、大溪、大園等市區公車及國

道客運路線，考量尖峰需求並納入候車空間及大客車充電樁等，共規劃 10 席大客車席位。(圖 16)



圖 16 中壢車站轉運站規劃

(四) 車站主體設計

中壢車站規劃包括東出入口、中央出入口、西出入口等三處出入口，以及三棟未來開發大樓（詳圖 17、圖 18），地下一層為穿堂層、南側停車場位於地下一至三層

（局部）、地下三層為臺鐵月台層（穿堂層直下月台層），長 532 米，寬約 36 米，停車場區長 183 米，寬約 27 米，車站各層規劃如圖 19 所示，剖面圖如圖 20 所示。

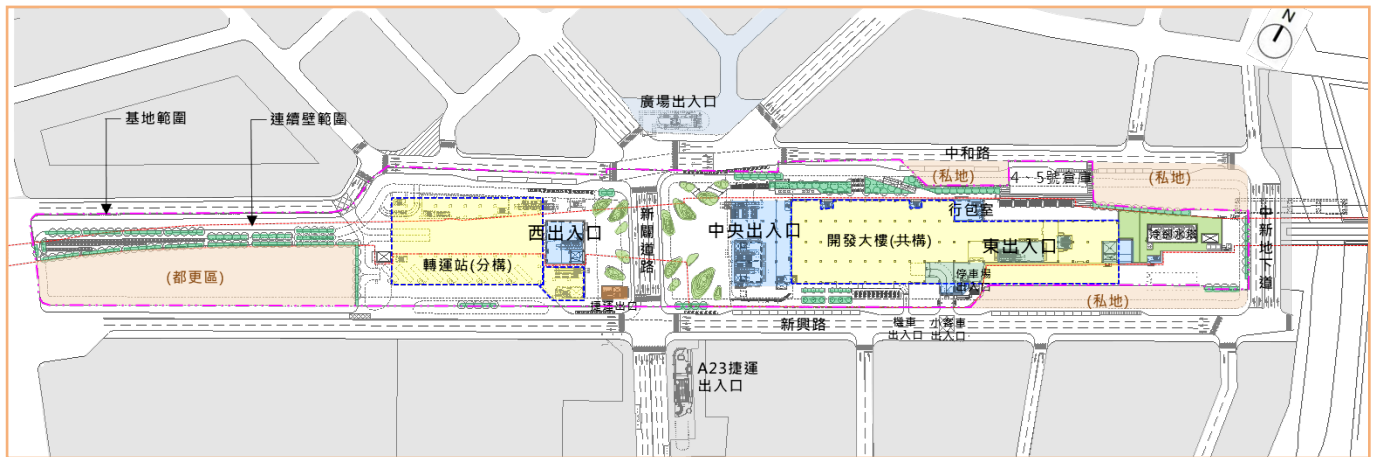


圖 17 中壢車站地面層配置圖

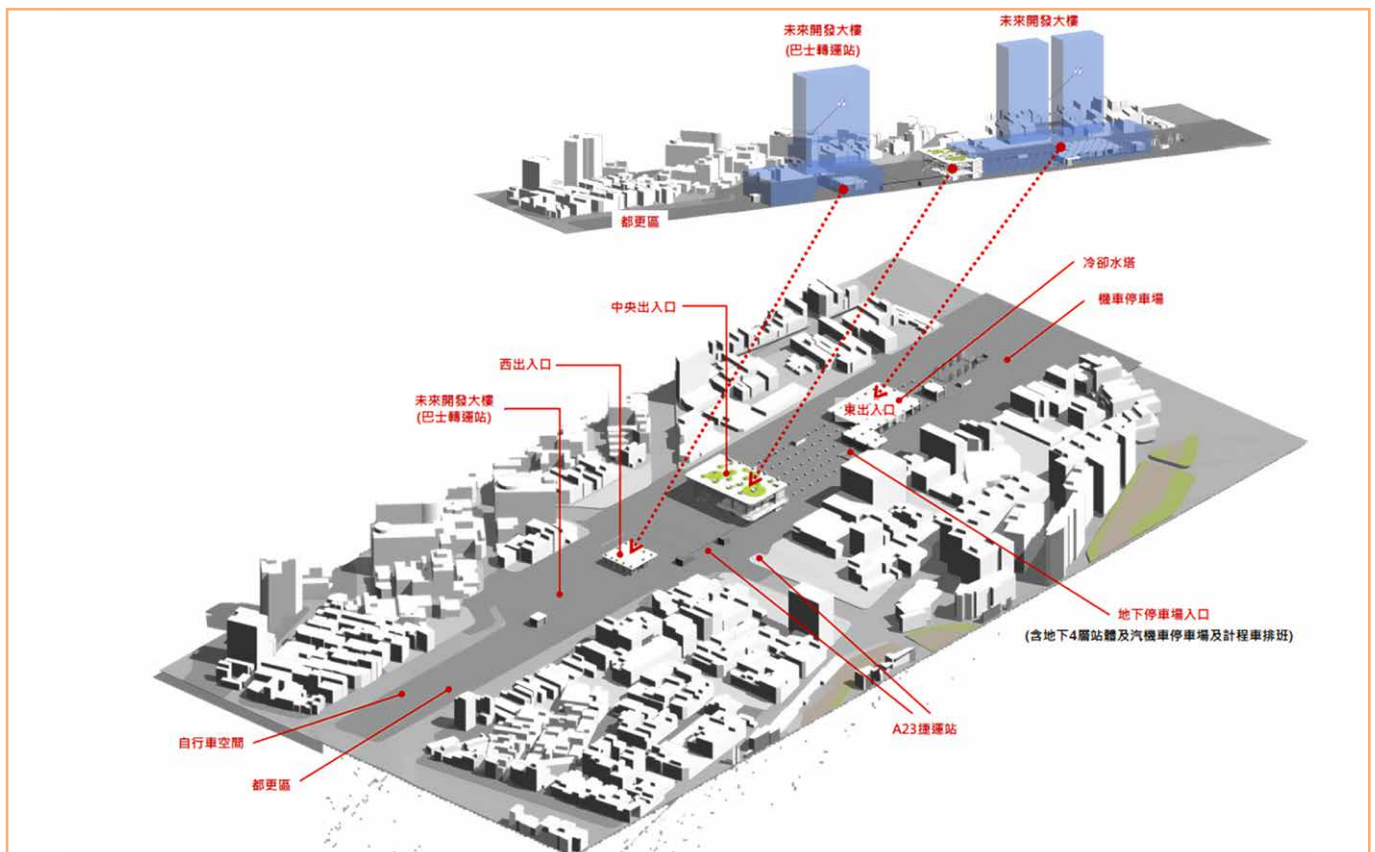


圖 18 整體開發配置

1. 各層規劃說明

(1) 地面層

主要以市民廣場之景觀綠化為主，站體僅設置旅客出入口、緊急出入口、消防救災用出入口與必要之機電設備通風口，或與聯開大樓共構。

(2) 地下一層（旅客大廳層）

旅客通達部分由付費區和非付費區組成，旅客無法通達部分主要為中央監控室、車站站務空間與車站必要之機電設備空間等。

(3) 地下二層

為停車場空間。

(4) 地下三層

為月台層空間。

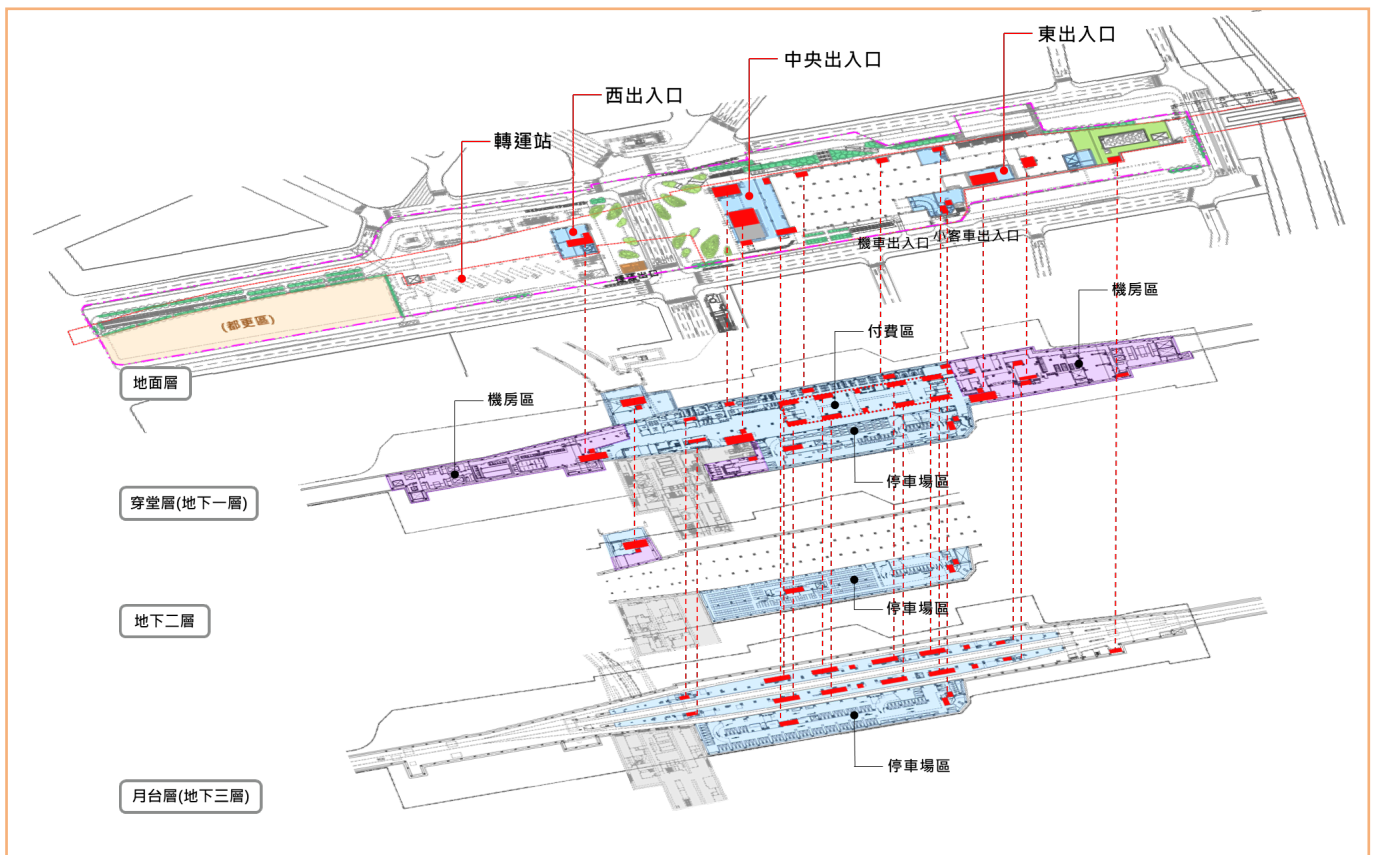


圖 19 中壢車站各層規劃



圖 20 中壢車站短剖面圖

2. 旅客動線

本站與機場捷運 A23 站路線垂直相交，A23 站規劃為地下三層，臺鐵穿堂與其地下一層互相連通，方便旅客轉乘。本站地

下層亦直接連通計程車排班區，並可連通至未來開發大樓地下層及中正路地下街（圖 21、22）。

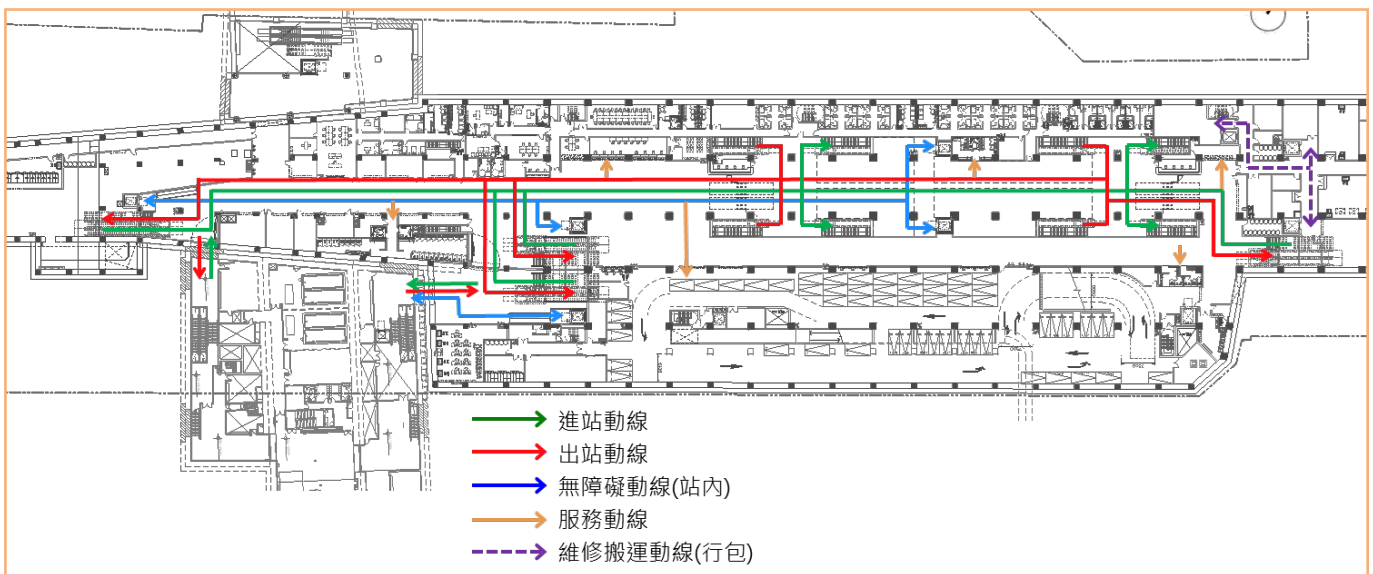


圖 21 穿堂層人行動線規劃

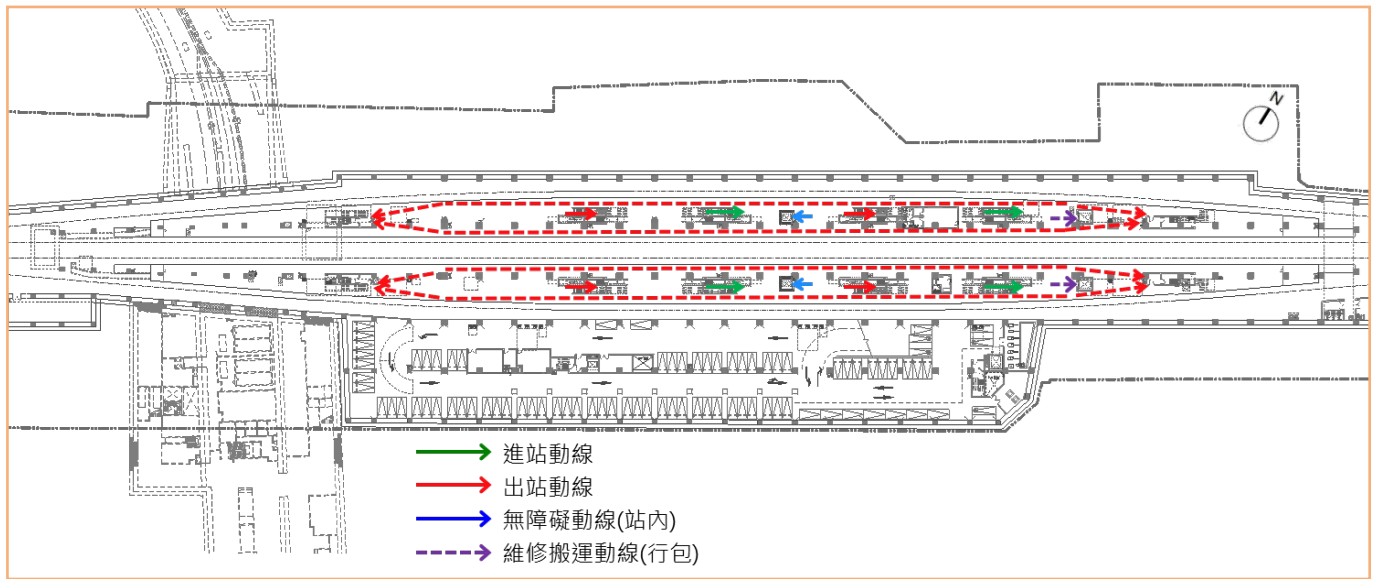


圖 22 月台層人行動線規劃

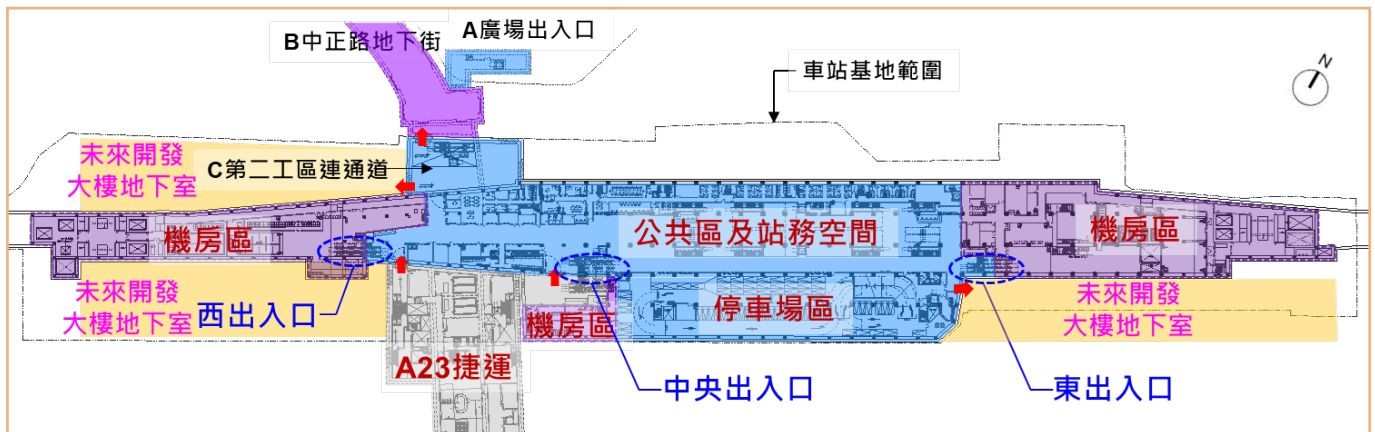


圖 23 中壢車站穿堂層與未來開發連通規劃平面圖

3. 造形設計

位於市中心的超級街廓，不僅容納完整車站建築與商業開發，更重要的是提供城市足夠的開放空間。為回應中壢多元族群的聚流，本基地將結合東西側路廊綠地，盡可能提升空間的開放性，展現多元共融之城市主軸。

主出入口採穿透造形，並設置都市大廳半戶外開放廣場；玻璃垂幕除可遮風擋雨外，亦能作為廣告或宣導之電視牆，創造市民參與、有趣且具休憩功能之都市空間（圖 24）。

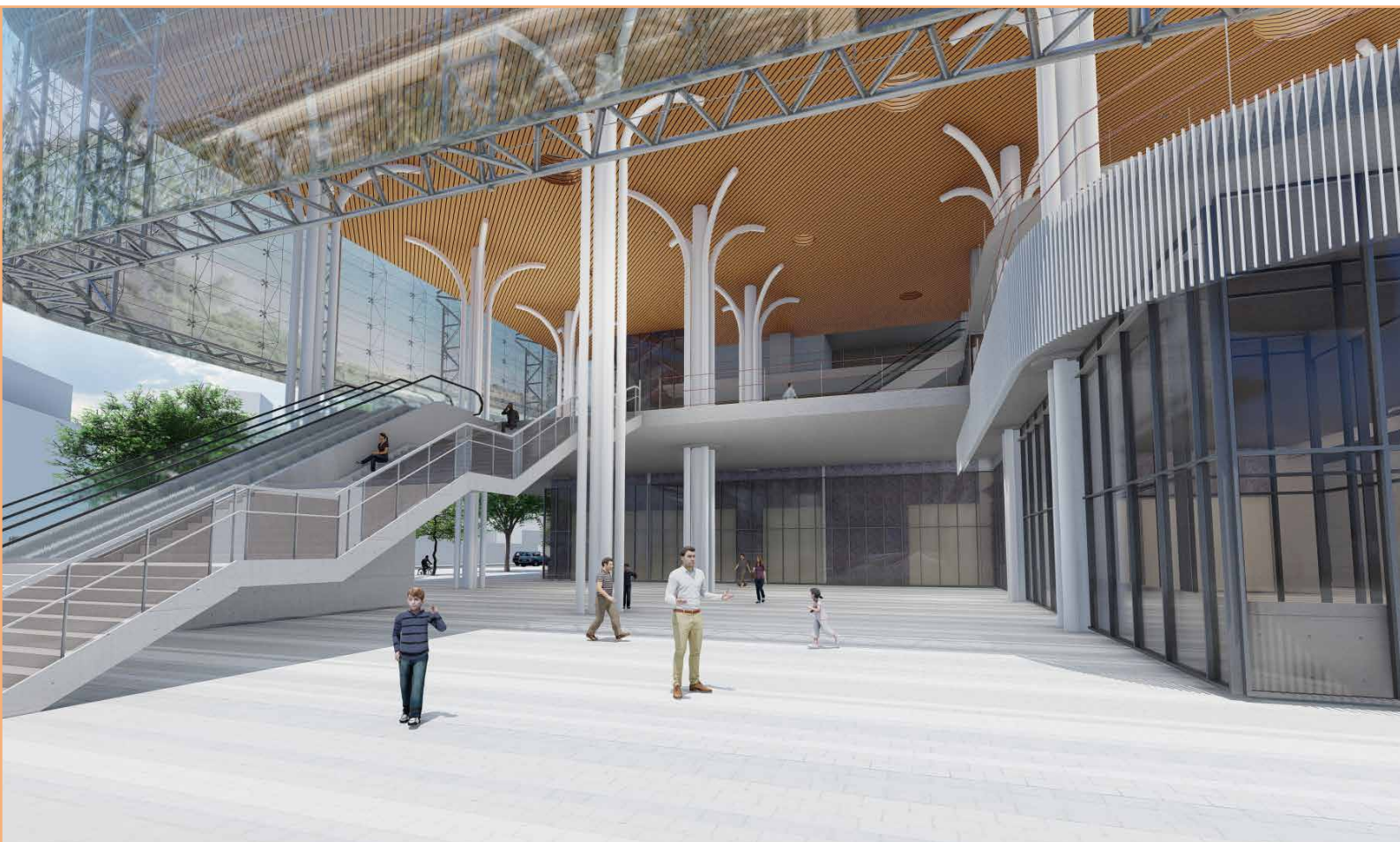


圖 24 中壢車站中央出入口泱泱廣場晝夜意象

(五) 捷運連通設計

機場捷運 A23 站位於中壢車站旁，原為機場捷運延伸中壢的終點站。為因應未來轉乘需求，綠線將由平鎮延伸至中壢市區，與機場捷運線為同一站體內共構設計，透過加長月台讓綠線與機捷可於同一月台層銜接後，將實現無縫轉乘目標，提升營運效率（圖 25、26、27）。

中壢站為未來臺鐵、機場捷運（A23 站）以及桃園捷運綠線延伸段三鐵共構的交通樞紐，透過縝密設計與轉乘系統整合，預期將大幅提升市民通勤效率，並帶動中壢都市更新與商圈活化。

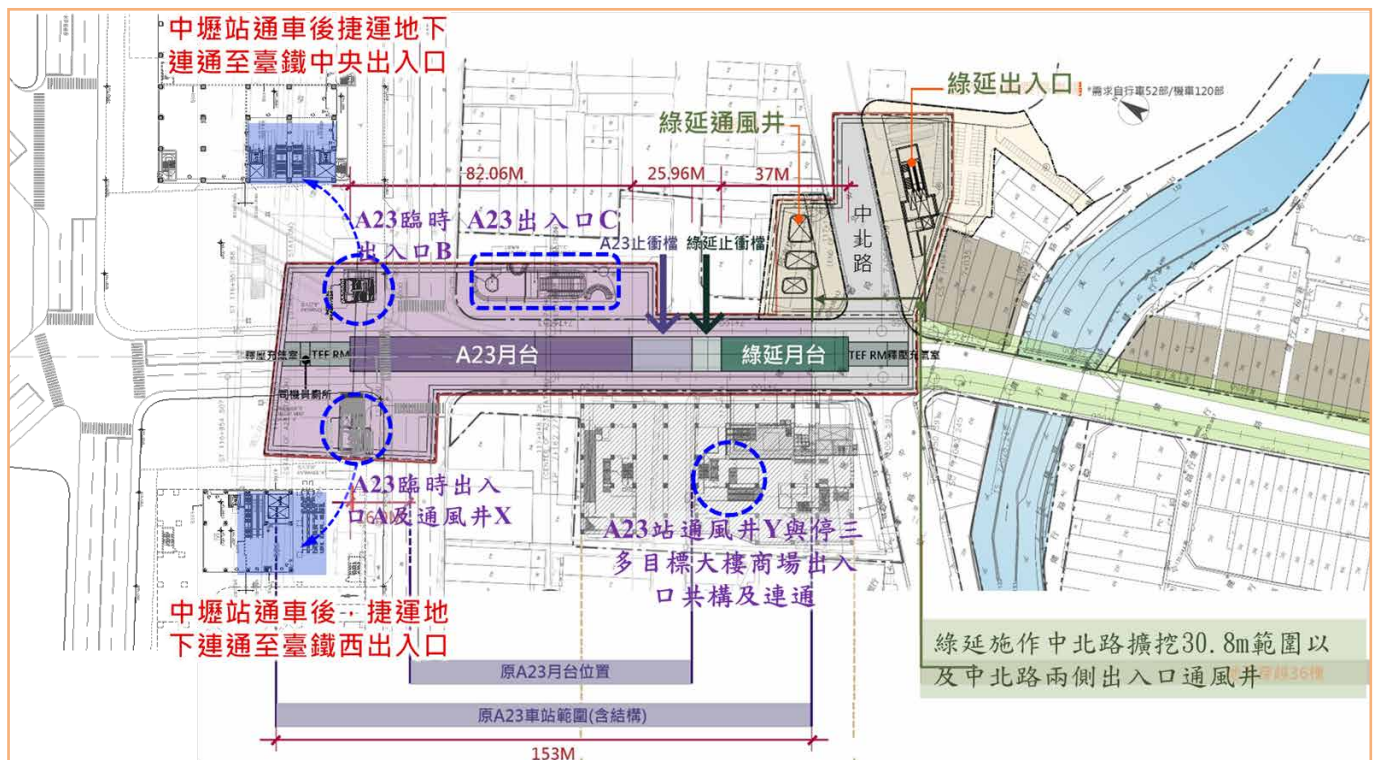


圖 25 A23 站出入口與臺鐵連通轉乘示意圖

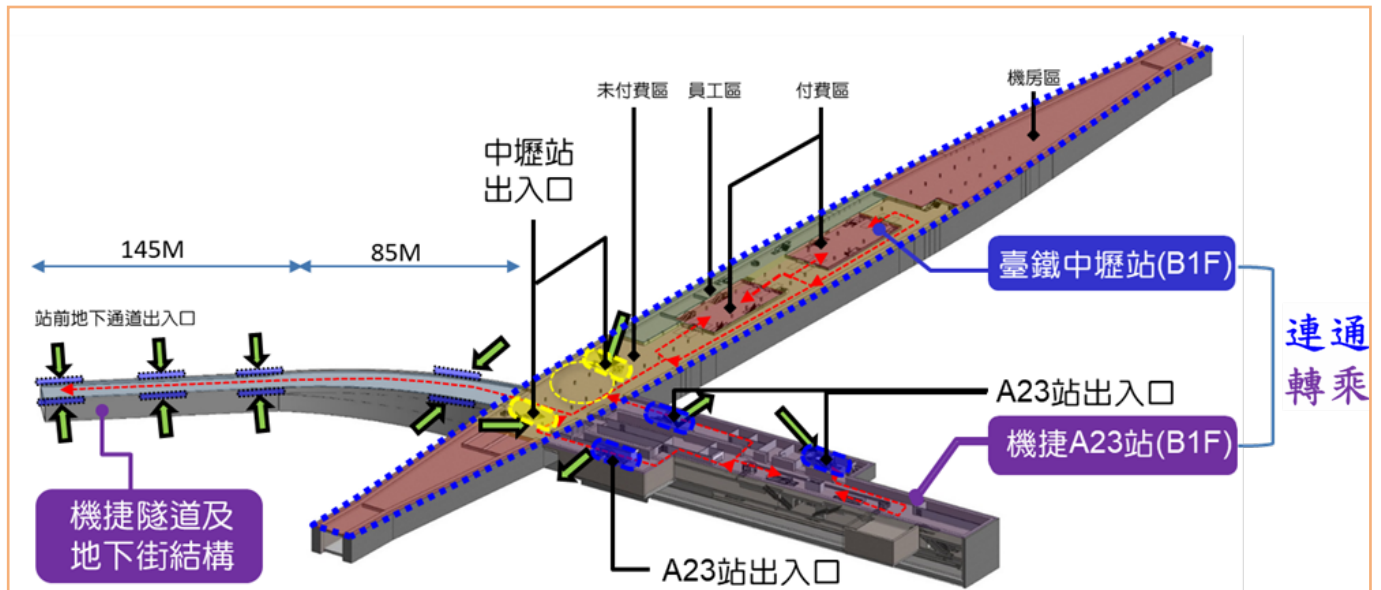


圖 26 中壢車站與機捷介面關係圖

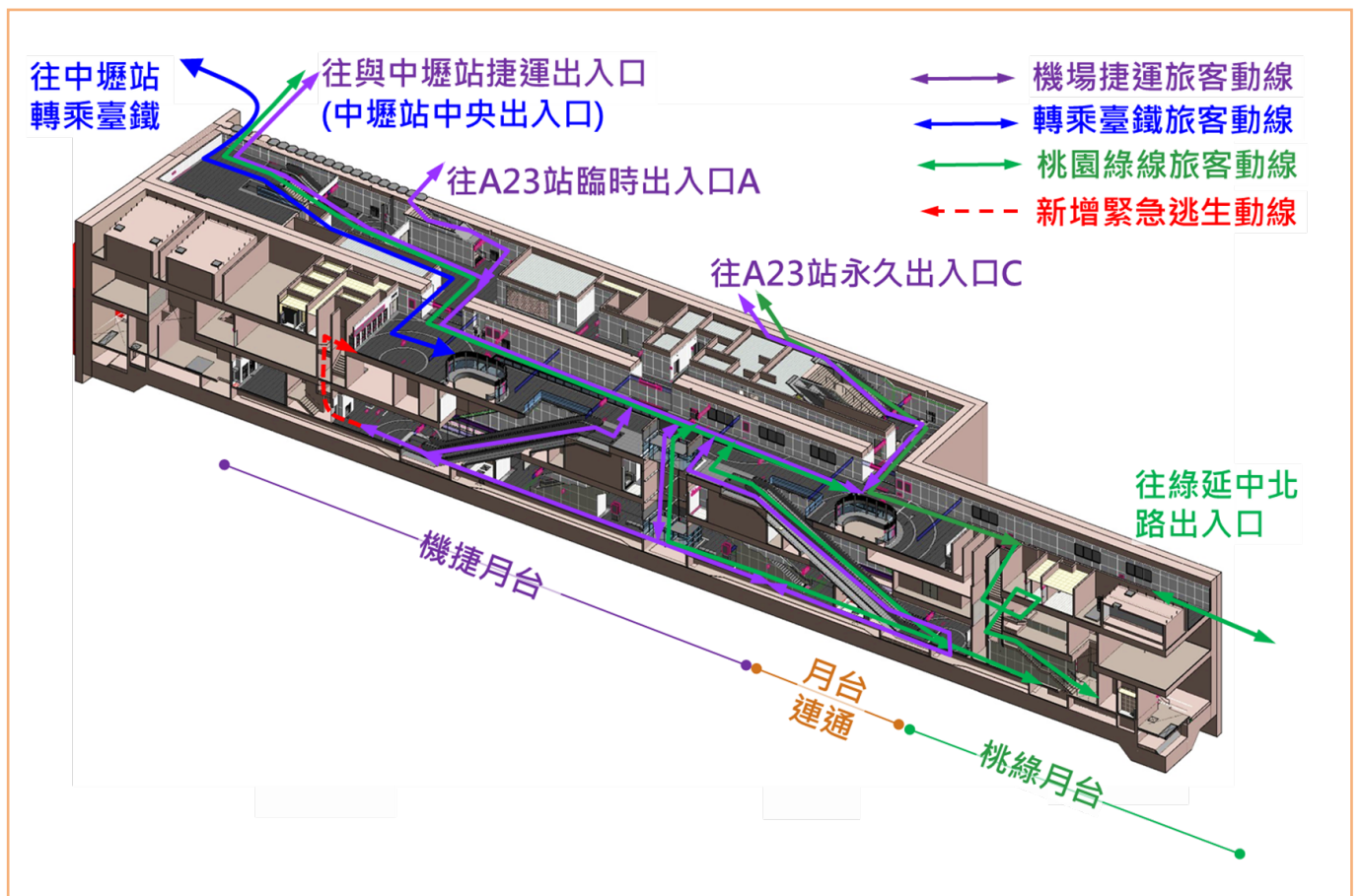


圖 27 A23 站月台層與臺鐵穿堂層連通動線 3D 示意圖

(六) 未來開發大樓

車站區上方為臺鐵未來開發共構大樓，依臺鐵公司目前招商規劃，健行路以東為開發大樓（共構），分別為 1 至 3 樓商場、4 至 25 樓為辦公及酒店式公寓等二棟大樓；以西為轉運站大樓（分構），1 樓轉運站、2 至 5 樓停車場、6 至 12 樓辦公空間、13 至 25 樓旅館大樓，如圖 28 所示；臺鐵未來大樓開發不再只是單一用途的交通設施，而是以「交通為核心、生活為延伸」的思維，打造集轉運、辦公、購物與住宿於

一體的多功能建築。這樣的規劃不僅能有效活化國有資產，更將成為帶動都市轉型與區域再生的重要引擎。

未來開發大樓於車站之西側出入口與轉運站區為非共構區，中央出入口及東出入口所在車站為共構大樓區（圖 28、29、30），地面層預留大樓柱位，車站全區地下層外牆預留未來可拆除連通口，以連通未來開發之地下層（圖 23）。

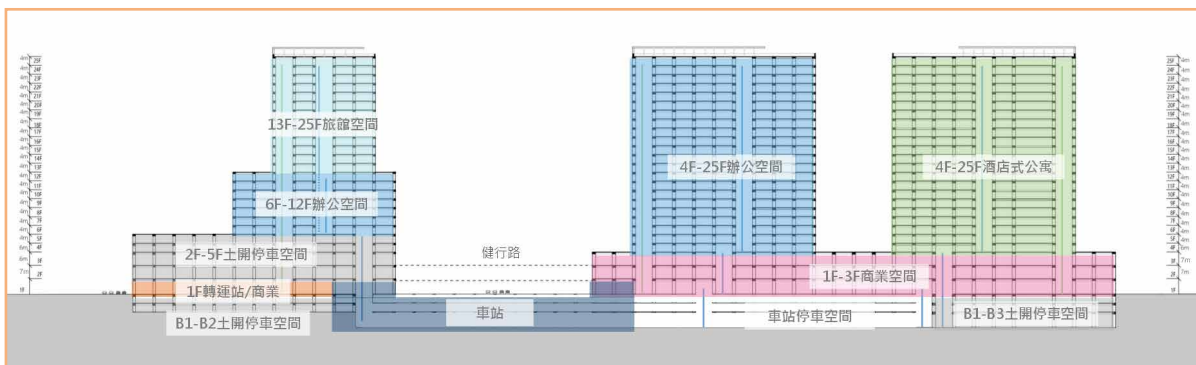


圖 28 共構大樓規劃(臺鐵公司提供)



圖 29 中壢車站未來開發大樓規劃透視圖（臺鐵公司提供）

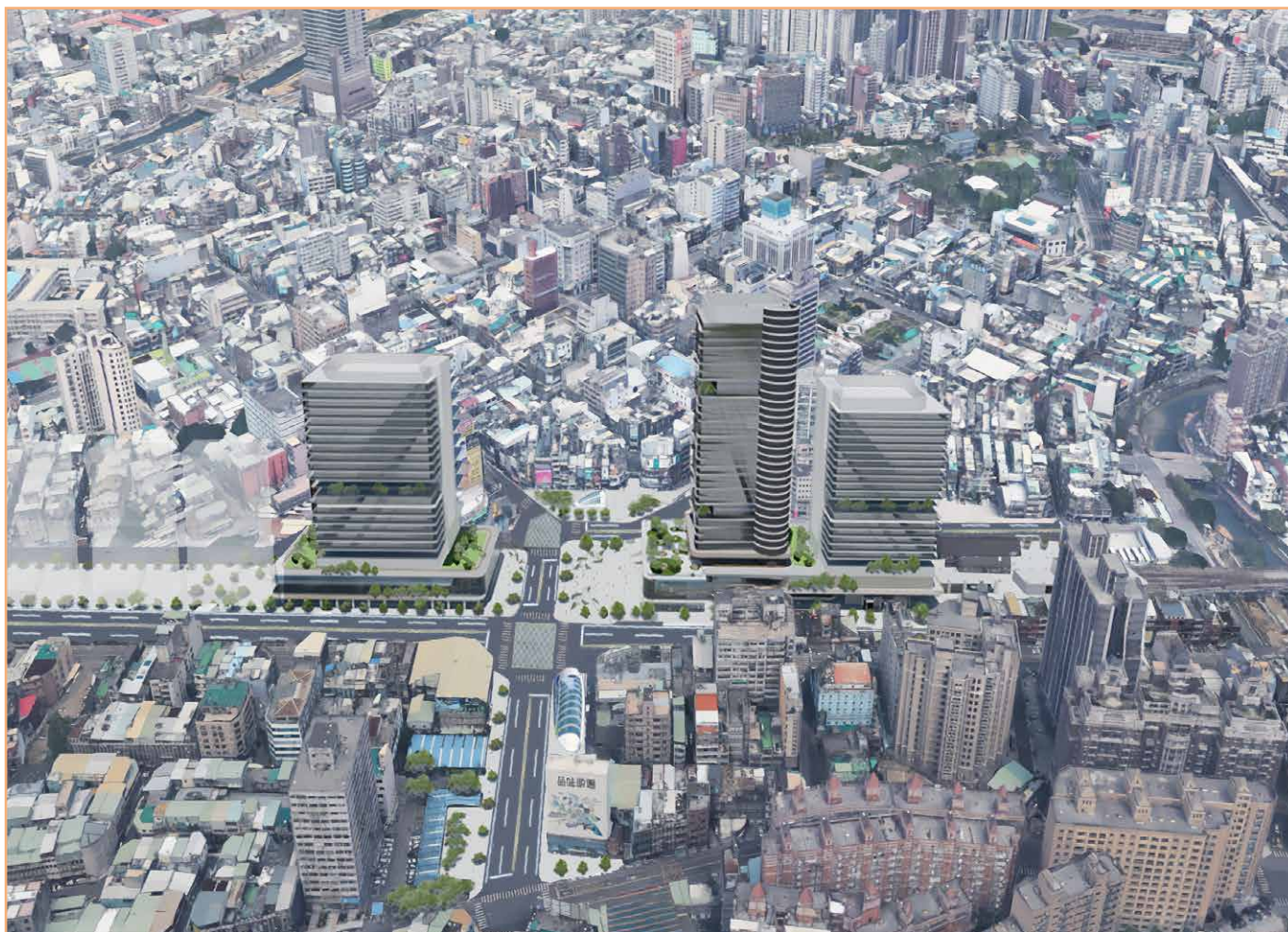


圖 30 站區未來開發規劃建議方案視覺模擬

肆、中壢車站結構系統及分階段施工規劃

一、結構系統

中壢車站結構系統規劃主要分為梁柱段及板牆段（圖 31）。

（一）共構大樓區考量韌性設計需求，採韌性抗彎矩構架（SMRF）之梁柱系統，其中共構

大樓採鋼構（SS），地下站體為 RC，柱內埋設逆打鋼柱以利共構大樓續接。

（二）非共構區則採板牆系統。

（三）基礎型式為避免上浮及差異沉陷，採用筏基搭配樁基礎。

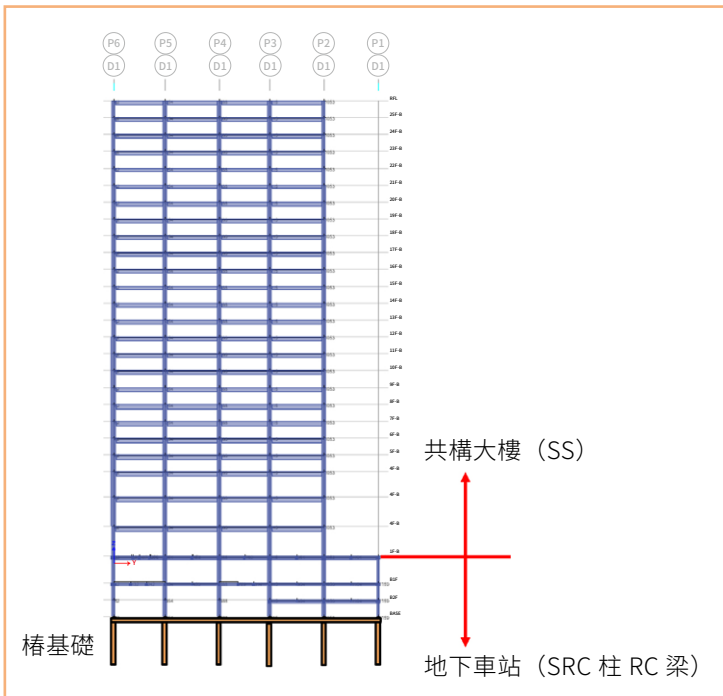
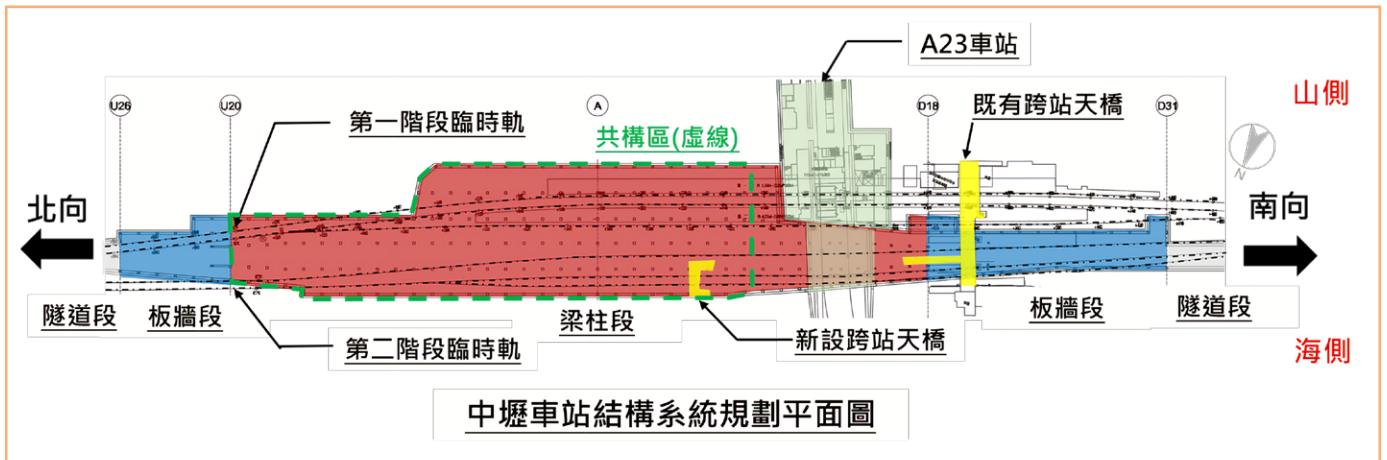


圖 31 中壢車站結構系統示意圖

二、分階段施工規劃

本計畫因用地受限，故於設計階段規劃兩階段臨時軌切換，並在中壢車站範圍內，採逆打板兼軌道支承板供臨時軌營運。

施工步驟為列車行駛於第一階段臨時軌施作海側連續壁、逆打基樁、逆打鋼柱及部分逆打板，後續切換至二階臨時軌，並施作山側連續壁及其他部分逆打板（施工步驟示意圖詳圖 32、33）。

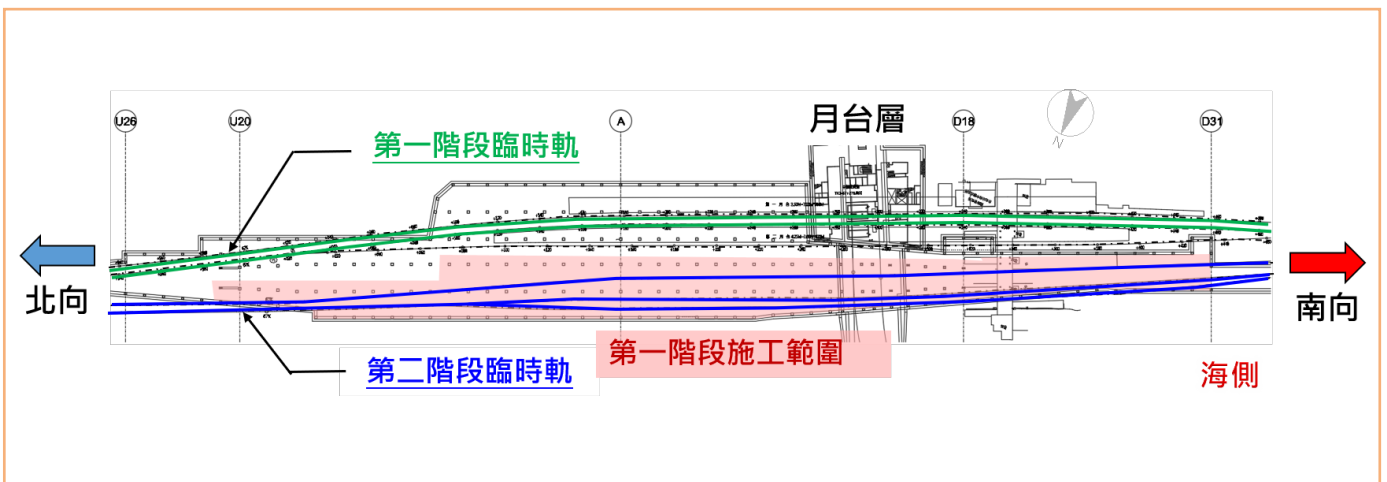


圖 32 桃地計畫南段軌道切換示意平面圖

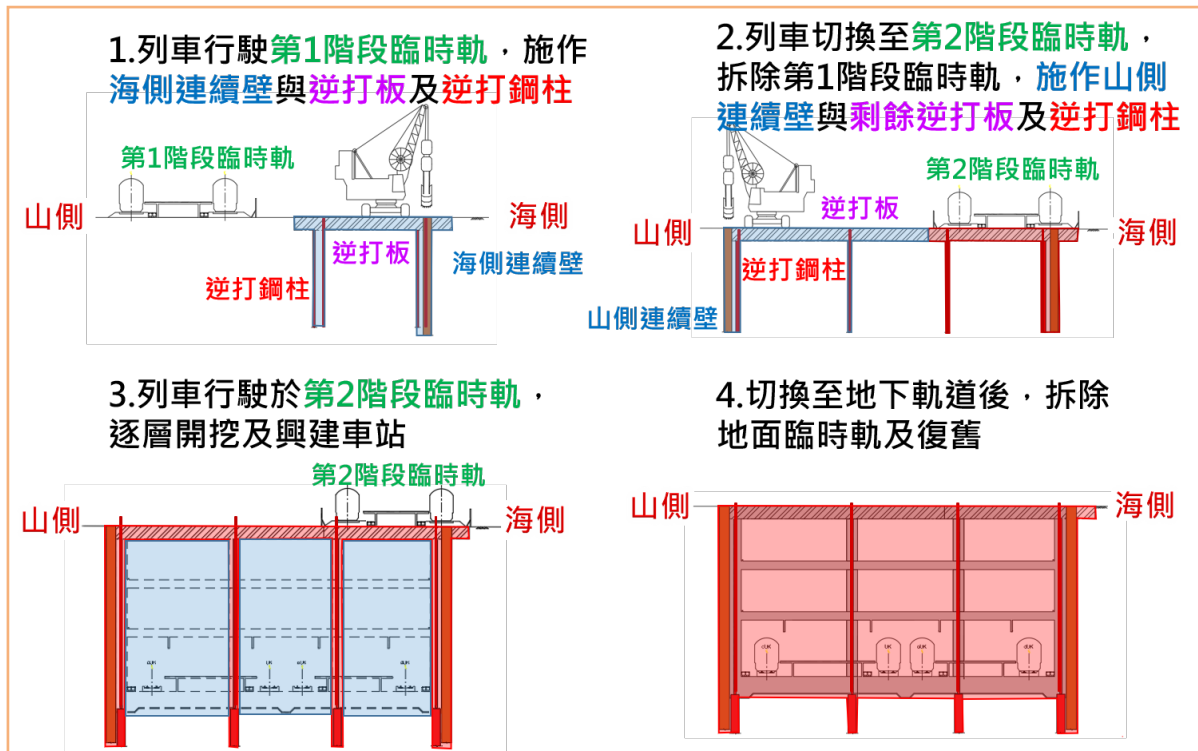


圖 33 桃地計畫南段軌道切換步驟示意圖

伍、結論

鐵路地下化不只是交通工程，更象徵城市的蛻變與進化。中壢車站的轉型，是地方交通節點轉為生活核心的縮影。鐵道曾劃分城市，如今地下化讓城市重新縫合，串起被切割的社區紋理與人際網絡。月台與列車的聲響，不僅承載人們的回憶，也將隨這座嶄新站體轉化為新的城市記憶。

透過本計畫的推動，中壢車站將蛻變為具備轉運、商業、休閒、文化與綠意兼容的現代都會樞紐。未來的中壢車站，不只是車站，更是城市的會客廳，是地方與世界接軌的門戶，更是融合過去情感與未來願景的城市核心。

參考文獻

1. 交通部鐵道局，DJ02 標南段鐵路工程設計及監造工作委託技術服務服務建議書（2020.11）。

2. 交通部鐵道局，臺鐵都會區捷運化桃園段地下化設計計畫綜合規劃報告（2020.10）。

3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，車站造形風貌簡報（2021.7）。

4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，都設審報告書簡報（2022.11）。

5. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，中壢 _ 內壢車站設計簡報（2025.6）。

6. 黃瑜琛、張正欣、歐文爵、夏恒仁，「桃園鐵路地下化中壢車站之規劃及設計」，中華民國第十七屆結構工程暨第七屆地震工程研討會（2024.8）。

7. 張哲侖、張正欣、歐文爵、黃士銘，「桃園鐵路地下化中壢臨時前站之規劃與設計」，中華民國第十七屆結構工程暨第七屆地震工程研討會（2024.8）。

臺鐵車輛檢修新篇章——潮州機廠的規劃、建設與前瞻應用

關鍵詞 Keywords

- # 地下頂升設備 Underground Jacking Equipment
- # 電聯車 EMU
- # 車輛維修資訊管理系統 MMIS
- # 檢修作業標準手冊 SOP of Maintenance
- # 鐵道文化園區 Railway Culture Park

台灣世曦工程顧問股份有限公司
鐵道部

工程師

吳國榮

副理

邱學章

副理

耿則中

資深協理

歐文爵



臺鐵原位於高雄之檢修廠等設施，配合高雄市區鐵路地下化，車輛汰舊換新與擴充維修能量，啟動「潮州機廠」建設，打造具現代化、專業化與數位化的車輛檢修基地。工程以「遷建高雄機廠」為主軸，整合檢修廠、附屬設施與立體化工場配置，並導入「車輛維修資訊管理系統」以提升效能。潮州機廠不僅全面承擔列車維修任務，也有助於推動臺鐵組織轉型，帶動地方產業與技術升級，為臺鐵永續經營奠定堅實基礎。



一、緣起

段」辦理，三級～四級檢修由原位於鳳山（臨港線上）約 32.45 公頃之「高雄機廠」負責（圖 1）。

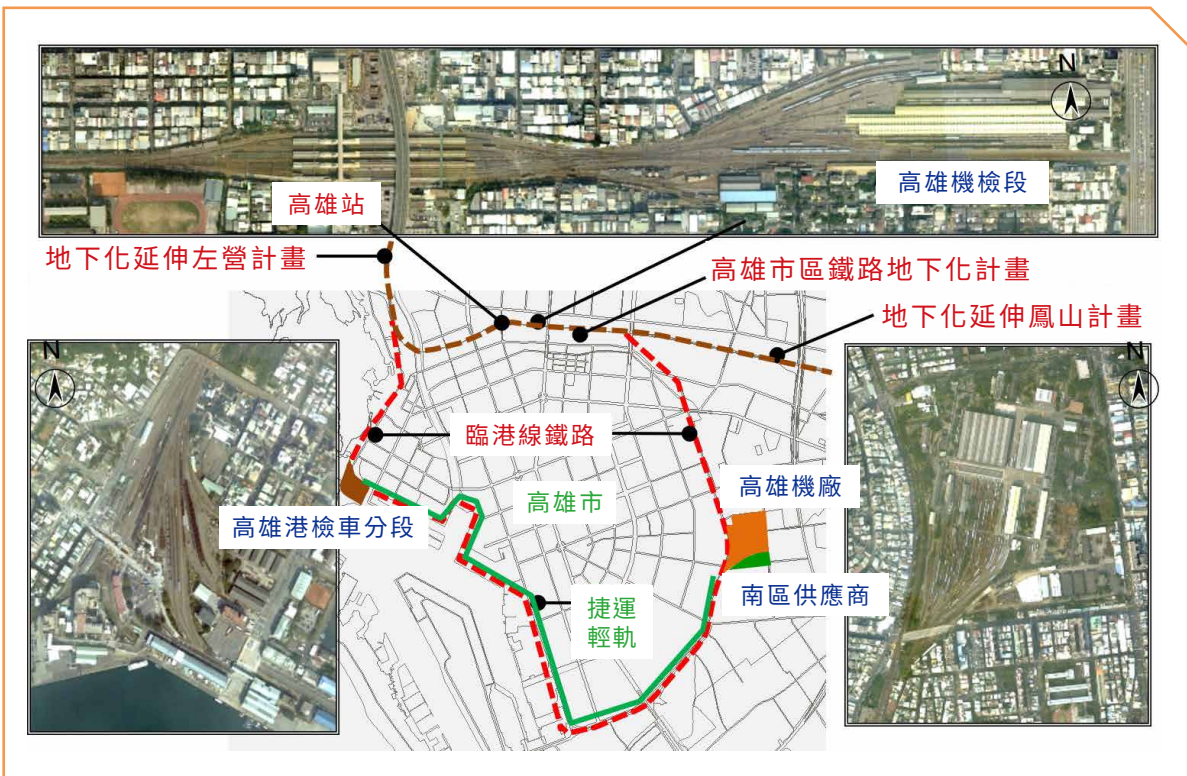


圖 1 原南部地區檢修廠段位置

臺鐵為汰換老舊車輛及因應未來旅運量成長，依「臺鐵整體購置及汰換車輛計畫（2015－2024年）」，辦理採購 600 輛 EMU3000 城際客車、520 輛 EMU900 通勤電聯車（圖 2）、102 輛機車、60 輛支線混合動力客車，以取代既有老舊車輛，故新建機廠須能辦理這些新列車檢修需求。



圖 2 新購電聯車運行現況照片

二、目標——建構臺鐵南部車輛檢修中心

因臺鐵轉型捷運化、新購車輛及汰換老舊車輛，檢修基地重新布局（圖 3），既有南部地區一級～四級檢修均已搬遷至潮州，定期檢修車輛先至一～二級檢修之「潮州

車輛基地」（2015 年啟用），視需要再至三～四級檢修之「潮州機廠」（2021 年啟用），可節省車輛進廠檢修回送距離成本，一～四級檢修作業整合便於臺鐵管理，現已為臺鐵南部車輛檢修樞紐。

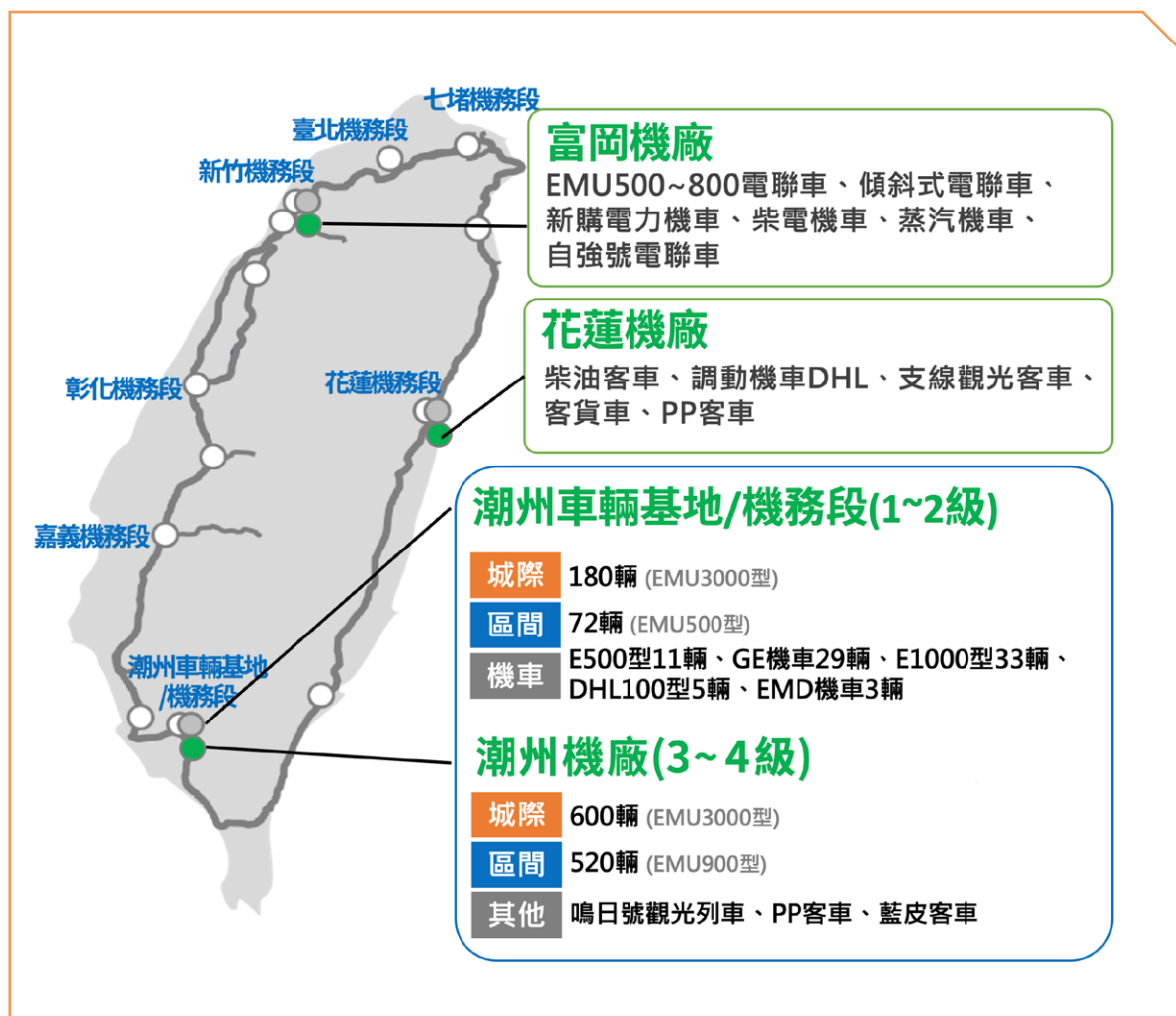


圖 3 臺鐵檢修基地合理化布局

貳、高雄機廠遷廠與南區供應廠工程概要

一、執行歷程

(一)「高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫」可行性研究報告 2012 年 4 月通過。

(二)「高雄機廠遷建潮州開發計畫」環境影響說明書 2012 年 8 月通過。

(三)「高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫」綜合規劃 2013 年 10 月通過。

(四) 非都市土地開發許可於 2017 年 5 月取得。

(五) 高雄機廠遷建潮州設計（原高雄機廠客貨車檢修，並預留未來檢修新購 EMU900 電聯車機制，一期工程） 2015 年 4 月～2018 年 1 月。

(六) 潮州一期工程施工 2017 年 10 月～2021 年 6 月。

(七)「潮州基地二期工程建設計畫」（於預留地興建新購 EMU3000 電聯車檢修工廠）2021 年 8 月通過。

(八) 潮州二期設計 2022 年 4 月～2026 年。

(九) 潮州二期施工 2023 年 9 月～2028 年。

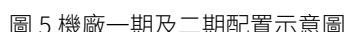
2. 基地配置

「潮州機廠」（不含潮州車輛基地）面積 51.67 公頃，因軌道配置需要，用地分為 A、B、C 三區。其中，A 區配置檢修廠房、南區供應廠為主要設施區；B、C 區為軌道、滯洪設施及綠地。廠區軌道與週遭道路橫交之處均以立體化橋梁錯開（圖 4），於先期工程將台 1 線高架化，以利進出場線由橋下穿越。「潮州機廠」與「潮州車輛基地」比鄰並以軌道連通利於檢修，基地東南為南區材料供應廠。



圖 4 潮州機廠及潮州車輛基地進廠軌道示意圖

州基地二期工程則以 EMU3000 型城際電聯車檢修設施為主，「潮州機廠」並為北部富岡機廠之支援，一期及二期配置如圖 5。



機廠檢修之電聯車主要系統可概分如下表 1，規劃之工場檢修流程圖詳圖 6，檢修特點如後各節所述。

主要系統		配合機構 / 系統		
車體	車體結構	連結器與車間走道 / 風檔	車門 / 門機	
車廂內部	座椅	照明	空調	廁所
行走	轉向架	軋機（煞車）系統	牽引推進系統	
電氣	電機系統	電力系統（集電弓）	壓縮空氣系統	輔助電力系統
電子	列車監控、旅客資訊服務及保安			

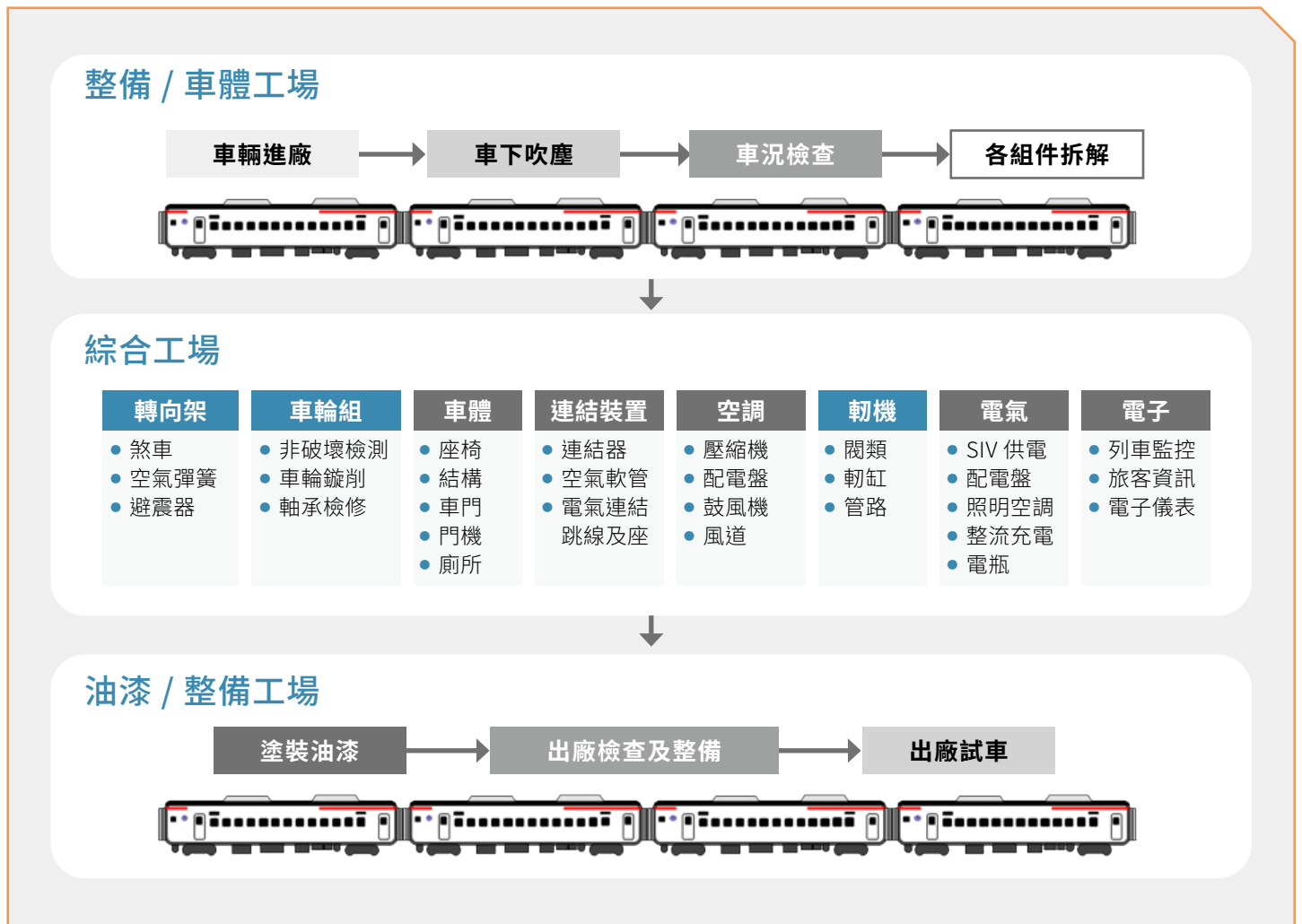


圖 6 工場檢修流程示意圖

一、檢修工場立體化

潮州二期係於一期預留地興辦新購 EMU3000 型 12 節電聯車檢修工廠（圖 5），因用地受限，檢修工場採立體化設置，車輛進廠分解為零組件，再依重量配置檢修——重者於 1 層檢修，輕者置於 2、3 樓層，並依工作分類集中式上下樓層配

置，縮短搬運距離。立體化檢修：平面配置有移運軌道，垂直以堆高機、貨梯運送，除高效利用用地外，並使檢修作業流程最佳化，如圖 7。

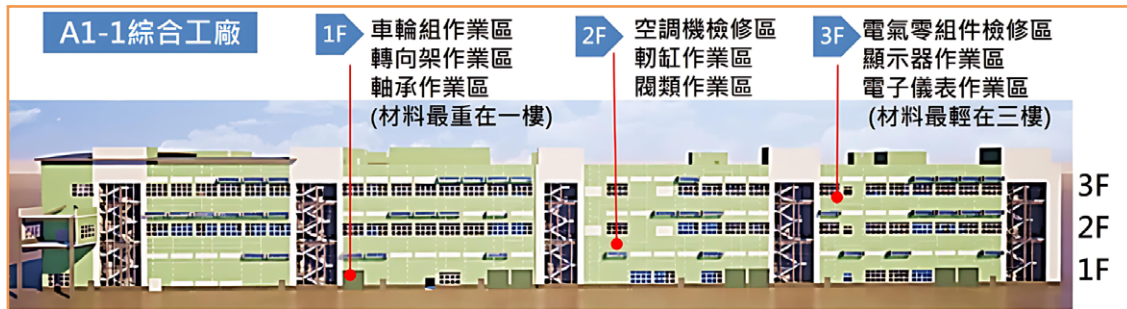


圖 7 立體化檢修，檢修作業流程最佳化

二、新穎檢修設備——地下頂升設備

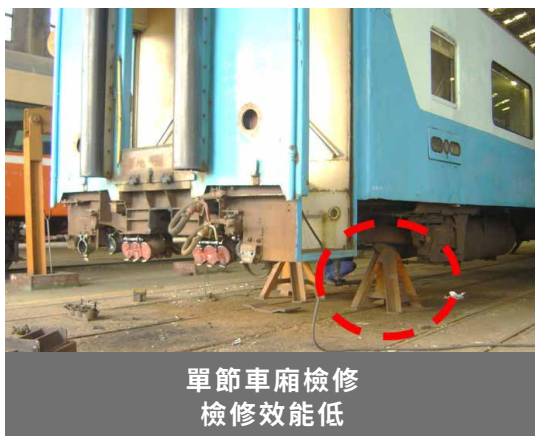
過去，舊有高雄機廠車輛檢修須動用吊車（156 人、12 小時）抬升車輛，並以鋼腳座暫撐，才能進行單節車廂檢修，效能較低。

現行國內常用之地下式頂升設備都為轉向頂升機，一種是地下式搭配地上型同步抬高機（例如臺北機廠富岡基地），另一種是轉向架頂升機及車體架台均為地下式（例如高鐵燕巢總機廠、臺北捷運等），但車體架台為固定位置，不可前後移動。前者可適用不同車型，但使用同步抬高機時，安

全風險較大；後者可避免同步抬高機翻覆之安全風險，但僅能適用於單一車種。

客車工廠設置之地下式頂升設備，於側承車體架台部分可前後移動 $\pm 400\text{mm}$ ，適用在此範圍內不同頂升點之車種，亦可降低翻覆風險。於不頂升時，設備全部收藏於蓋板下，周邊蓋板可承受 30 噸車輛通行，有利於空間運用，其同步抬升一列 10 輛編組車廂，僅需 18 人、40 分鐘，效能高（圖 8）。其他新穎、自動化檢修設備如圖 9。

高雄機廠 1.0



潮州機廠 2.0



圖 8 新穎檢修 - 地下頂升設備



圖 9 新穎、自動化檢修設備

三、改變傳統臺鐵師徒制檢修方式

過去，臺鐵各廠、段長期採用師徒制訓練檢修新進人員，因列車車型眾多，難以完備檢修標準新訓基礎教材，多數訓練內容係來自師父個人經驗累積之知識，整個訓練制度以經驗傳承為主。近年來，臺鐵檢修人力不足且出現斷層，使得許多檢修經驗雖依照檢修標準作業規定與程序，但仍受到環境、人員、工單形式與記錄方式等因素影響，加上各廠、段間存在些許差異而未能完整傳承，導致部分車種僅有特定人員專精的現象。另養護檢修資訊多以紙本方式保存，取用和分析上較不便。

爰此，將上述檢修紀錄電子化，並整理檢修作業標準手冊（SOP）、建立資料庫架構，以利經驗傳承、檢修資料保存，增加養護資訊的利用價值，進而提高鐵路營運安全與服務品質。

肆、前瞻應用「車輛維修資訊管理系統」

2018 年 10 月 21 日發生第 6432 次自強號於新馬站出軌事故後，衍生出普悠瑪列車檢修材料不足的問題，以及檢修作業管控之疑慮。因此，臺鐵 2021 年於「高雄機廠遷建潮州及原有廠址開發計畫」增加辦理「車輛維修資訊管理系統（Maintenance Management Information System, MMIS）」專案，用於建置、管理全公司機務廠、段所有車輛檢修作業，涵蓋從日常維護到大修等各種檢修活動，並配合與臺鐵其他資訊系統達成資料交換，提升運轉可靠度、降低非預期故障，完備車輛檢修之工作計畫管理及工單管理之目標。

「車輛維修資訊管理系統」專案由台灣世曦擔任規劃設計及監督審驗，建置廠商為遠

傳電信股份有限公司系統整合分公司，建置期程 3 年，已於 2022 年 2 月 9 日啟用上線使用（圖 10），並於 2024 年 9 月 26 日完成驗收；目前共完成 58 車型、6,053 輛車輛建置，相關車型建置成果，詳表 2。



圖 10 MMIS 系統登入畫面

MMIS 系統採 IBM Maximo 之商用套裝軟體建置，可依臺鐵使用者需求進行客製化功能；有關建置功能、應用及效益說明如下：

表 2 已建置車型與車輛數總表

主力車型（25 種，3,087 輛）

車輛種類	車型（25 種）	數量
機車	E1000	180
	E200/300/400	
	R150/180/190	
電聯車	EMU500/600/700/800/900/3000 TEMU1000/2000	2,136
柴油客車	DR1000/3000/3150	209
客車	PP、莒光號、客廳車、商務（美學、彩繪）、餐車、空調普通車	562

其餘車型（33 種，2,966 輛）

車輛種類	車型（25 種）	數量
本局貨車與自備貨車	各型貨車	2,147
普通車	TP, TPK, SPK	13
行李車	MBK	15
電源車	PBK	15
柴油機車	DHL100	16
柴電機車	R100	32
	R200	34
電力機車	E500	68
車輛種類	車型（25 種）	數量
機車	R20, S200....	25
電聯車	EMU100/200....1200	109
柴油客車	DR2 及 3 系列	209
客車	花車、行李車	278
貨車	搶修、檢查車	5

一、各車型檢修作業

MMIS 的規劃與建置主要根據機務檢修業務與工作需求。系統透過數位化設計及管理，統一各項檢修流程並記錄檢修過程。應用系統的畫面資料登錄盡量採用點選方式，避免輸入錯誤，也可依使用單位需求進行調整。

建置內容包括車輛基本資料及其對應的檢修作業，除了涵蓋一至四級定期檢修工作外，亦包含不定期檢修、臨時性檢修、列檢、洗車、消毒除蟑，以及司機員出庫檢查等項目。此外，系統提供統計分析與管理功能，並具備未來擴充的彈性，詳圖 11。

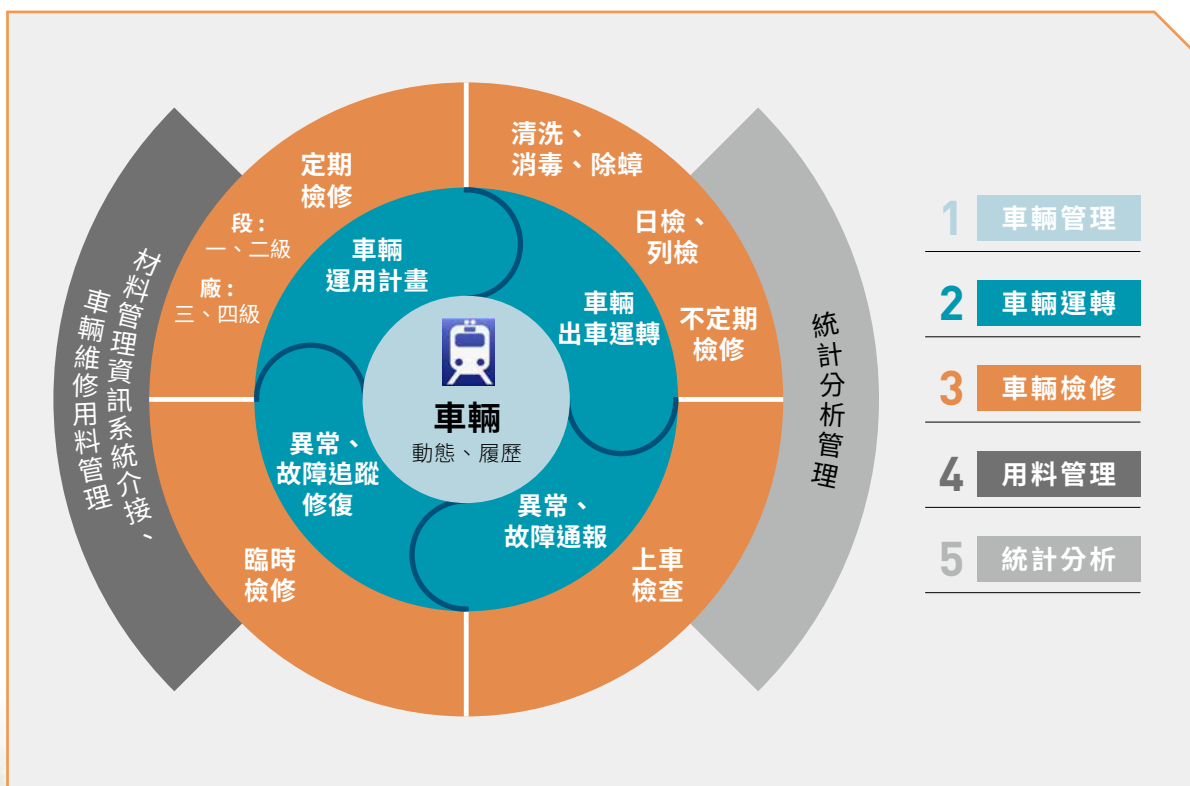


圖 11 建置車輛完整基本資料及對應檢修作業

二、應用系統功能

MMIS 系統建置功能主要包含兩大項：「車輛」與「車輛維修設備工具」。系統共建置 19 個功能模組，涵蓋 171 項子功能，相關內容概述如下：

（一）車輛功能

有關車輛之系統功能架構，詳圖 12，共建置 15 個功能模組，涵蓋 156 項子功能。

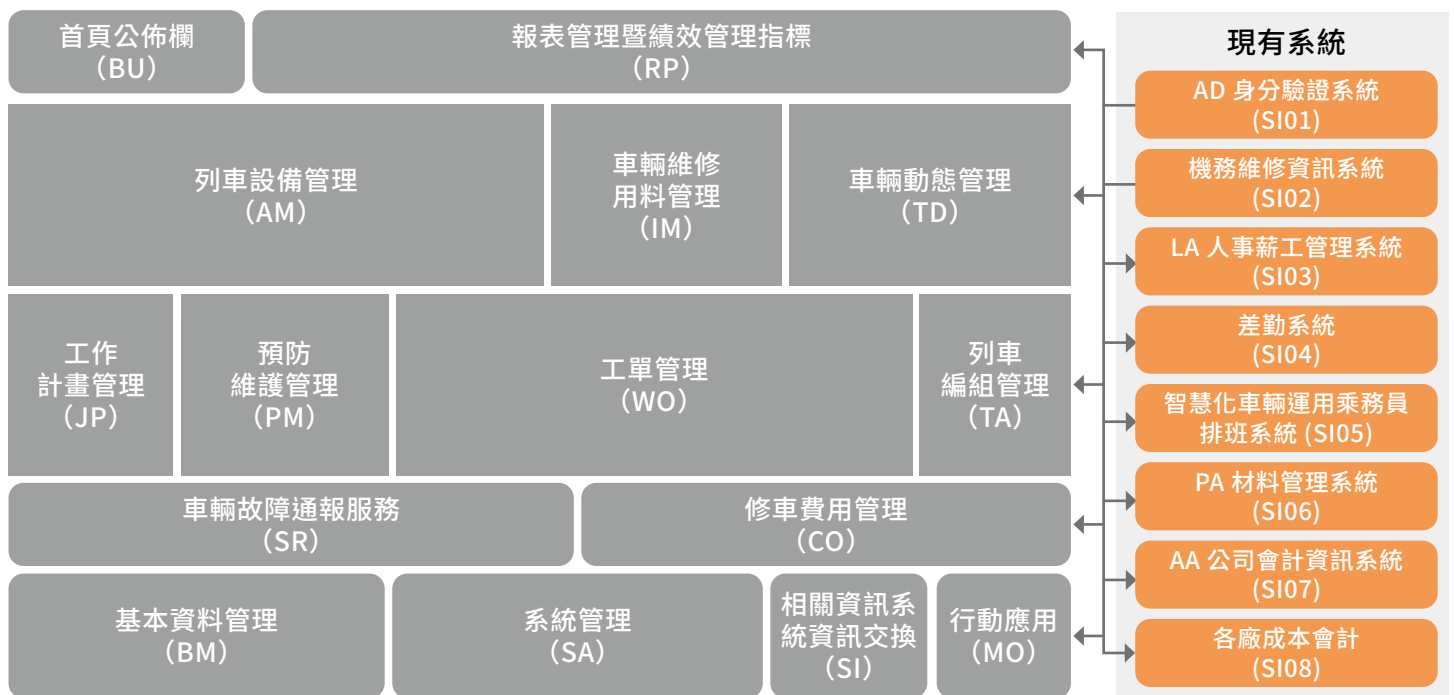


圖 12 車輛之系統功能架構圖



MMIS 車輛功能建置之前瞻應用如下：

1. 車輛管理

MMIS 將車輛資產納入系統電子化管理，建置車輛全生命週期管理能力，包含車輛資

訊、檢修計畫、車輛檢修履歷及檢修作業標準手冊（SOP）、車輛的配屬單位、借用單位，皆由系統管控，並可隨時線上查詢整個生命週期的異動履歷，確保車輛全生命週期的可追溯性，詳圖 13。



圖 13 車輛管理

2. 車輛預防保養及工單管理

MMIS 系統以車輛設備管理為中心，可依各車型的各級檢修週期，針對即將到期車輛進行預先主動式開單管理，以便掌握車輛進廠、段檢修時機；系統可進行「檢查量測回報值」以確認是否符合規範，管制追蹤檢修工單進度，落實車輛檢修作業完整性，詳圖 14。



圖 14 車輛定期檢修預先開單及追蹤

3. 車輛編組運用管理與動態管理

(1) 列車編組管理

系統根據當日(隔日)運用計畫，登錄對應之編組，並提供「當日列車編組運用查詢」報表下載功能，供臺鐵運轉室及行控中心作為行車調度參考。

(2) 車輛動態管理

功能包含「車輛動態登錄」、「車輛進出廠動態維護」，可掌握每日車輛動態，確認每日可用之車輛運用編組，管控故障車不上線運用。

系統可完整掌握臺鐵車輛的編組方式，以及車輛狀態和監控等管理資訊，以確保行車安全。相關系統畫面，詳圖 15。

4. 車輛檢修用料管理

(1) 機務檢修用料倉庫管理

系統可提供各廠、段倉庫倉儲車輛檢修用料管理機制，包含倉庫、櫃位、庫存維護功能，簡化庫房作業、盤點與檢料流程。以花蓮機務段 2025 年庫存資料為例(圖 16)，系統可查詢材料庫存及領用餘額。

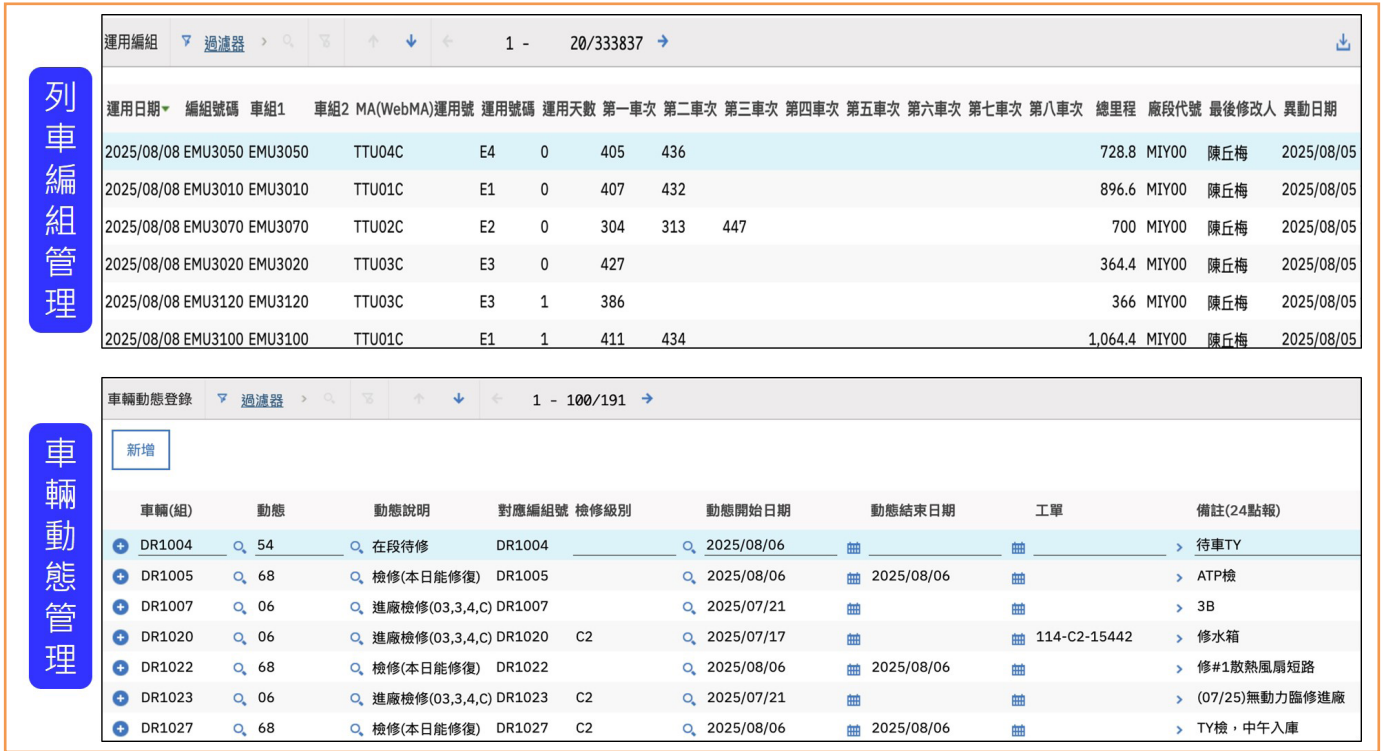


圖 15 車輛編組管理與動態管理

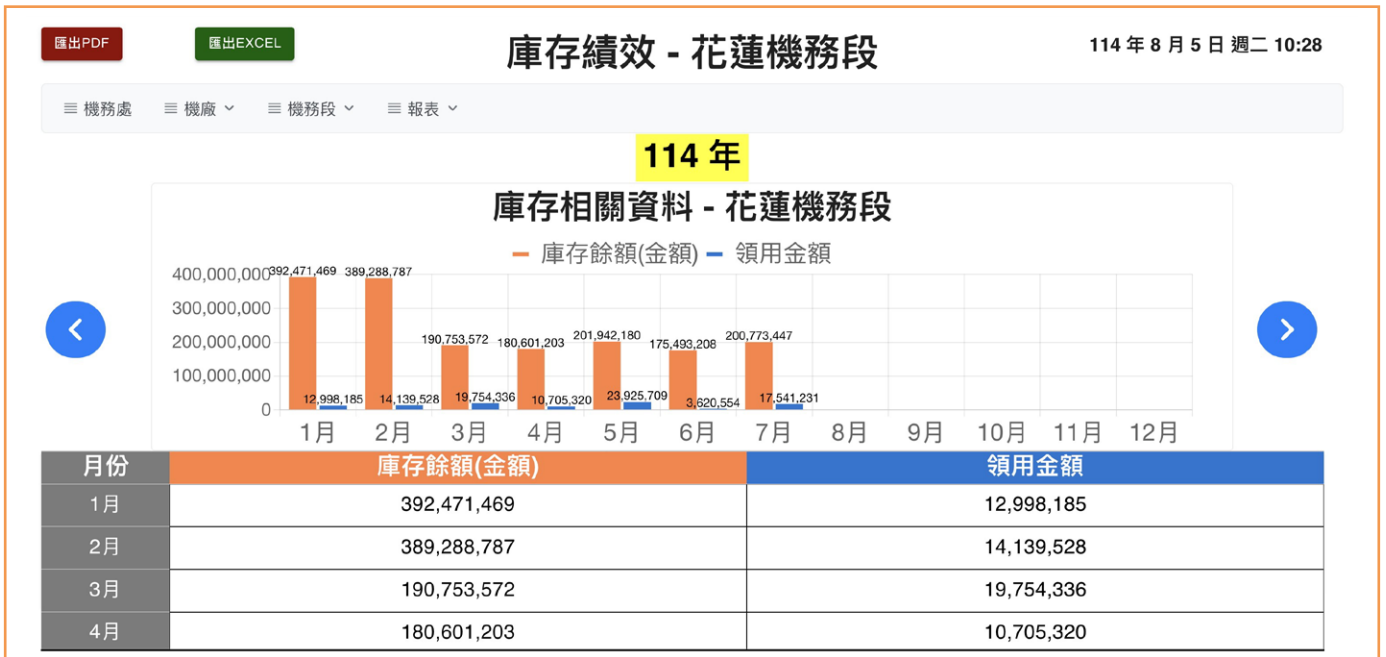


圖 16 花蓮機務段 2025 年庫存資料

(2) 機務檢修用料庫存異動管理

系統提供車輛檢修用料管理功能，包含「供應中心」及「處、廠、段」庫存餘額查

詢、檢修用料收料（購入）、領用、退料、調撥與盤點等異動作業。此外，系統提供庫存異動查詢機制，並可整合「材料管理資訊系統」（PA），將庫存異動資料介接

至 PA 系統，以支援後續帳務作業。目前 3 機廠、9 機務段檢修用料管理，已由紙本作業全面移轉至 MMIS 系統執行。

5. 故障通報管理

建立車輛故障完整管理循環，說明如下：

(1) 故障通報立案

行車事故或異常事件發生後，綜合調度所或機務處的運轉及列檢人員在收到故障通報後，會於 MMIS 系統立案，並通知鄰近段或所屬段進行檢查。

(2) 故障通報追蹤

鄰近段或所屬段收到通知後，派員進行故障排除查修，檢視車輛狀況，並決定是否需進一步進段檢修並開立臨修單。系統可在 MMIS 中追蹤管理後續檢修作業。

(3) 故障分析服務

系統可對故障事件進行統計分析，生成報表供機務處及綜合調度所人員參考使用。

(4) MMIS 故障通報作業處理流程

詳圖 17。



圖 17 故障通報作業處理流程

6. 報表管理與績效指標

彙總機廠與機務段之報表業務需求後，系統綜整各廠、段業務管理項目，包含車籍資料、運用編組、車輛檢修計畫、車輛動態、車輛檢修、零組件故障、機廠檢修報告等狀況及績效管理指標（KPI）。

績效指標功能（圖 18）可供各督導一級主管透過系統畫面查詢，包括「車輛資訊」、

「車輛配置」、「機廠檢修動態」、「故障通報狀態」及「車輛維修用料資訊」。系統可即時展示 KPI，方便查詢、了解及掌握各項數據，以利決策管理。

以臺鐵車輛之可用率為例，使用者可點擊「車輛資訊」查詢各車種當日可用數等資料，詳圖 19。



圖 18 績效管理指標系統畫面

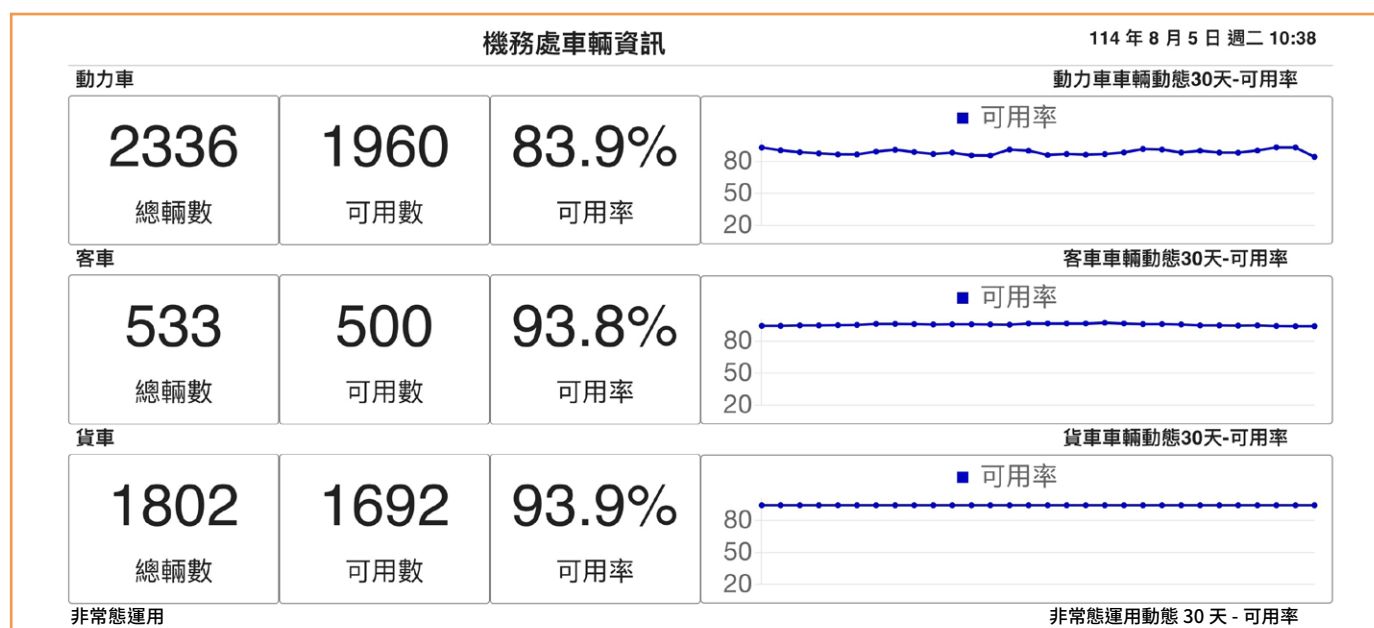


圖 19 「車輛資訊」查詢畫面

(二) 車輛維修設備工具功能

車輛維修設備工具管理系統可管理各項車輛維修相關設備工具，包括其所在位置、檢查與檢修計畫，以及規格規範等資訊。

同時，系統可管控設備工具的各種狀態，達到生命週期管理之目的。

系統功能架構（圖 20）包含 4 項功能模組，建置 15 項子功能。



圖 20 車輛維修設備工具系統功能架構

三、臺鐵既有相關資訊系統交換

MMIS 系統依據各單位需求建置資訊交換平台（提供中繼資料庫），介接各單位系統可以共享資料、功能，甚至協同工作，從而提升整體效率和效益。

四、系統建置效益

(一) 車輛全生命週期納入系統化管理

車輛全生命週期納入系統化管理，系統之顯示資訊，詳圖 21，其具體效益分述如下：

1. 工單流程管控提升修車效率

系統自動產生工單，指派檢修單位，追蹤檢修日期與進度。

2. 即時庫存資訊確保修車效率

掌握即時庫存，達到庫存使用最適化，避免車輛缺料待修。

3. 掌握車輛可用率、可靠度

臺鐵公司各督導一級主管可即時查詢、了解及掌握，以利決策管理。

4. 控管故障車不上線，司機員安心行車

可用車輛燈號顯示，管制故障車編組運用。

具體效益 車輛履歷建立、維運系統化管理，掌握車輛可用率、可靠度，確保行車安全



圖 21 車輛全生命週期納入系統化管理

(二) 數位管理效益

1. 車輛設備最高妥善率

檢修人員能掌握檢修流程、管制品質，確保檢修如實、如期、如質完工。

2. 清楚通透資訊

透過資料輸入和整合，實現資訊透明度，加速檢修作業進行與檢修動態管理追蹤。

3. 提升數位資訊技術

數位資訊技術成效顯著，深獲臺鐵公司認可。

4. 降低人力資源

排程資訊，預先規劃工作，可推演未來一年的工作內容，以平衡高峰期人力與物料調度。

(三) 智慧化行動檢修應用

MMIS 配備專用之平板電腦，供現場檢查員 / 領班即時回報檢查結果 (圖 22)，提高檢修時效；系統可自動帶入檢修基準供參考，登錄回報後，即時判斷是否超過基準。



圖 22 智慧化行動檢修應用現場作業

(四) 檢修資料的整合

標準化檢修作業程序和基準，累積檢修資料整合，提升技術能力，確保檢修品質達到卓越水準。

(五) 確保材料供應穩定性

檢修材料透過系統之數據分析，以預測未來需求，並提前採購物料，避免供料及存料不足的風險。2023 年 2 月上線開始累積數據，可藉由系統報表進一步分析未來 5 年採購需求，詳表 3。

表 3 材料年均耗量及推估未來 5 年需求用量

材料編號	材料 中文名稱	單位	至年底 需求量	第一年 需求量	第二年 需求量	第三年 需求量	第四年 需求量	第五年 需求量	平均 耗量	庫存量 (含供應中心)	在途量	種類
0001040005	柴油	LT	12,864	4,168	6,998	4,557	3,560	5,016	17,558	0	0	消耗，狀態
0104040817	內燃機油	LT	148	247	245	246	250	246	9,136	3,340	21,600	必更
0104070618	內燃機油	LT	4,355	9,360	9,360	9,360	9,360	9,360	29,563	6,316	221,200	必更
0107030112	空氣壓縮 機油	LT	135	45	73	43	40	57	104	1,030	0	必更
0107030415	風泵油	LT	825	1,460	1,441	1,449	1,460	1,439	1,388	4,191	3,553	必更
0108000716	馬達懸掛 軸承油	LT	60	60	120	120	0	0	5,243	4,200	48,400	消耗
01111020418	馬達齒輪 油脂	KG	20	20	40	40	0	0	2,275	2,640	15,120	消耗
0111030318	牽引齒輪 箱油脂	KG	1,680	540	915	540	480	690	1,560	2,700	2,700	必更

伍、廠區綠色基盤並帶動觀光

機廠前身為台糖武丁農場，屬非都市土地，故機廠開發依規定留設全區 30% 之國土保安用地作為保育區，主要設置 6 座滯洪池，並新植喬木群，營造鳥類棲地，使環境永續發展。

1. 營造人性化辦公環境「廠區公園化」

廠區建築物四周均留設綠化空間，使建築物被綠蔭環繞，達到「廠區公園化」，讓機

廠人員於綠意自然的環境修車；機廠北側滯洪池無對外開放，員工可漫步於環湖步道；機廠南側滯洪池周邊跟地方合作，規劃為對外開放區——潮州鐵道園區（圖 23）。

2. 友善周遭環境

潮州機廠設有完善之環保處理設備，周遭環境零污染。滯洪池可滯留暴雨，避免周邊淹水；此外，機廠 70% 面積透水，以補注地下水，減少逕流。



圖 23 廠區公園化

3. 鐵道文化及公共藝術提升觀光

檢修機廠多因噪音及污染成為地方嫌惡設施。為改善此情況，機廠南側滯洪池周邊規劃為潮州新觀光景點——「潮州鐵道園區」，帶動潮州及屏東發展。

潮州鐵道園區由臺鐵公司委外經營，以增加營收。自 2022 年開幕以來，已吸引超過 100 萬人參訪。園區展示高雄機廠、高雄港鐵路貨運歷史，以及南部鐵路立體化相關文物（高雄鐵路地下化、潮枋計畫、屏潮計畫等，沿線廢除之鐵路設施、文物），創造出獨具特色的觀光亮點。其特色如下：

1. 戶外展示具歷史氣息文物車輛，如臺鐵大物車等。
2. 室內鐵道文物館，展示貨車車軸、車軸超音波探傷機等歷史文物。
3. 融合公共藝術提供民眾親近鐵道藝術的機會（圖 24）。
4. 提供預約導覽參觀現行維修工場修車實景（圖 25）。
5. 並於二期完工後，申請「環境教育場域」之認證，以推動鐵道文化與教育。



圖 24 廠區公共藝術

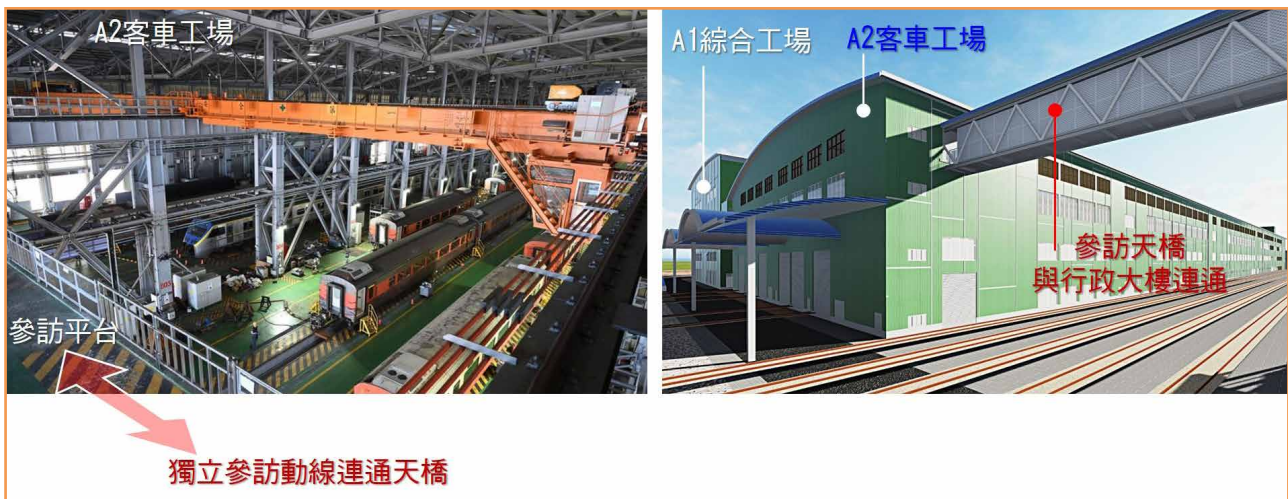


圖 25 現役檢修機廠參訪專用動線

六、結語

臺鐵潮州機廠針對新型 EMU3000 城際客車與 EMU900 通勤電聯車，規劃興建完善的檢修設施。廠區採立體化工場設計，搭配符合各車型的先進設備，並融合鐵道文化與公共藝術，促進觀光與環境教育發展。

因應智慧鐵道未來趨勢，潮州機廠導入全新「車輛維修資訊管理系統（MMIS）」，整合車輛資訊、配置、檢修動態、故障通報及維修用料等功能。後續將結合大數據分析，進行設備監測與預測維修，有效提升維修效率、降低成本並預防故障發生。

MMIS 系統上線已超過三年，車輛參數與維修資料日趨完整，成為進一步推動用料統計與採購分析的基礎。未來將持續擴充功能，包括零組件生命週期管理、預警機制與資訊共享，以強化系統整體效能。MMIS 的建置推動了臺鐵數位化與智慧維修進程，促進資訊整合與管理效率，為檢修作業創造嶄新標竿。

潮州機廠的建設不僅解決了高雄機廠空間受限與設備老舊問題，更藉由現代化設計與數位系統導入，大幅提升維修效率與安

全水準。未來，潮州機廠將成為臺鐵南部維修樞紐中心，支援新型列車維修需求，並配合公司化與組織轉型政策，推動鐵道產業升級與人力再配置。透過這項前瞻性的建設，臺鐵可望開創檢修作業新標竿，實現安全、效率與永續並重的經營目標。

參考文獻

1. 臺鐵現代化維修機廠 - 潮州機廠 - 中國工程師學會第九十卷第一期 耿則中 . 梁太隆 . 簡聰吉 . 邱學章 (2017.2)。
2. 臺鐵潮州機廠之規劃設計 - 土木水利第四十五卷第一期，林治平 . 李瑞欽 . 韓光曙 (2018.2)。
3. 運用建築資訊模型（BIM）精進潮州基地設計之作為 - 臺鐵資料季刊，周子超 . 梁太隆 . 蘇瑞育 . 范俊彥 (2019.3)。
4. 臺鐵潮州新機廠 - 兼顧環境永續並發展觀光 - 中華技術 127 期，何泰源 . 耿則中 . 梁太隆 . 邱學章 . 簡聰吉 (2020.7)。
5. 永續之臺鐵潮州新機廠 - 2020 永續與創新基礎建設國際研討會，歐文爵 . 邱學章 . 郭健仁 . 洪照亮 (2020.8)。

液化地層隧道環片外灌漿配置之抗浮效益分析

關鍵詞 Keywords

- # 液化土壤 Soil Liquefaction
- # 潛盾隧道 Shield Tunnel
- # 灌漿形狀和配置 Grouting Layout
- # 隧道上浮 Tunnel Uplift
- # 效益分析 Effectiveness Analysis

國立臺灣科技大學
臺灣建築科技中心

助理教授

鄭世豪

台灣世曦工程顧問股份有限公司
捷運工程部

工程師

鄭家欣

正工程師

賴宜群

正工程師

蔡淵堯

副理

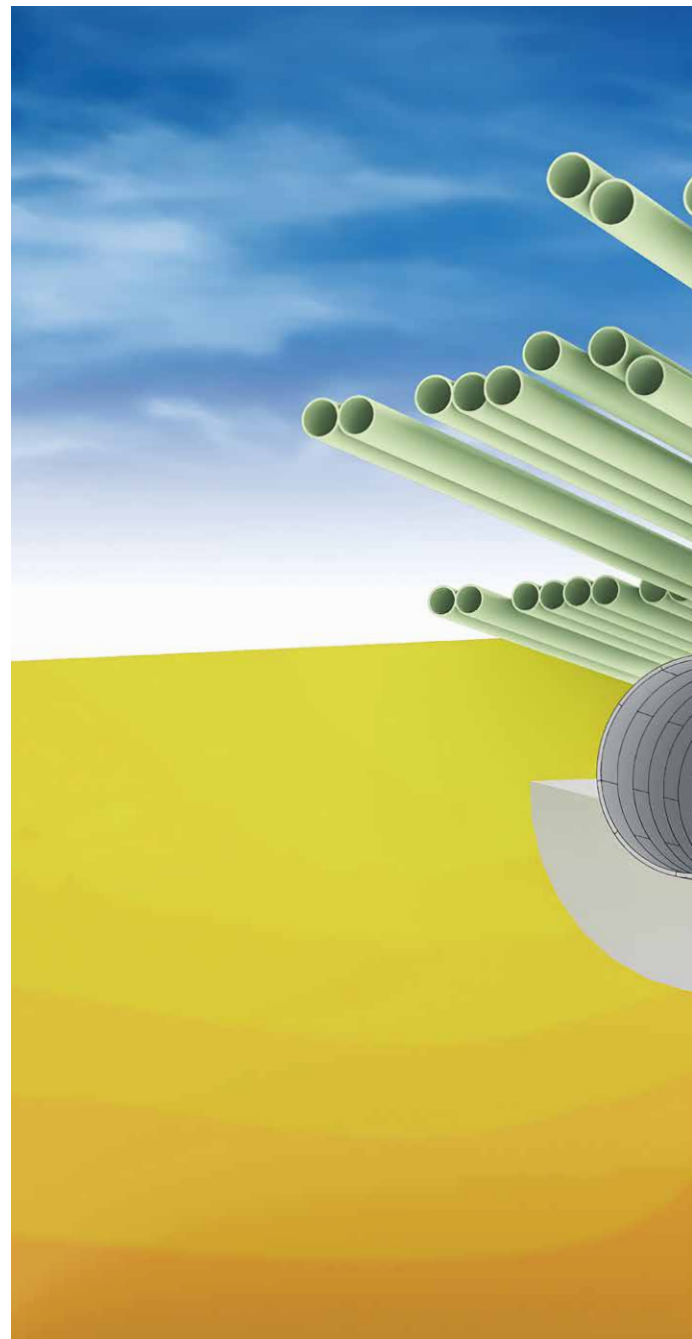
林恒次

經理

譚家瑞

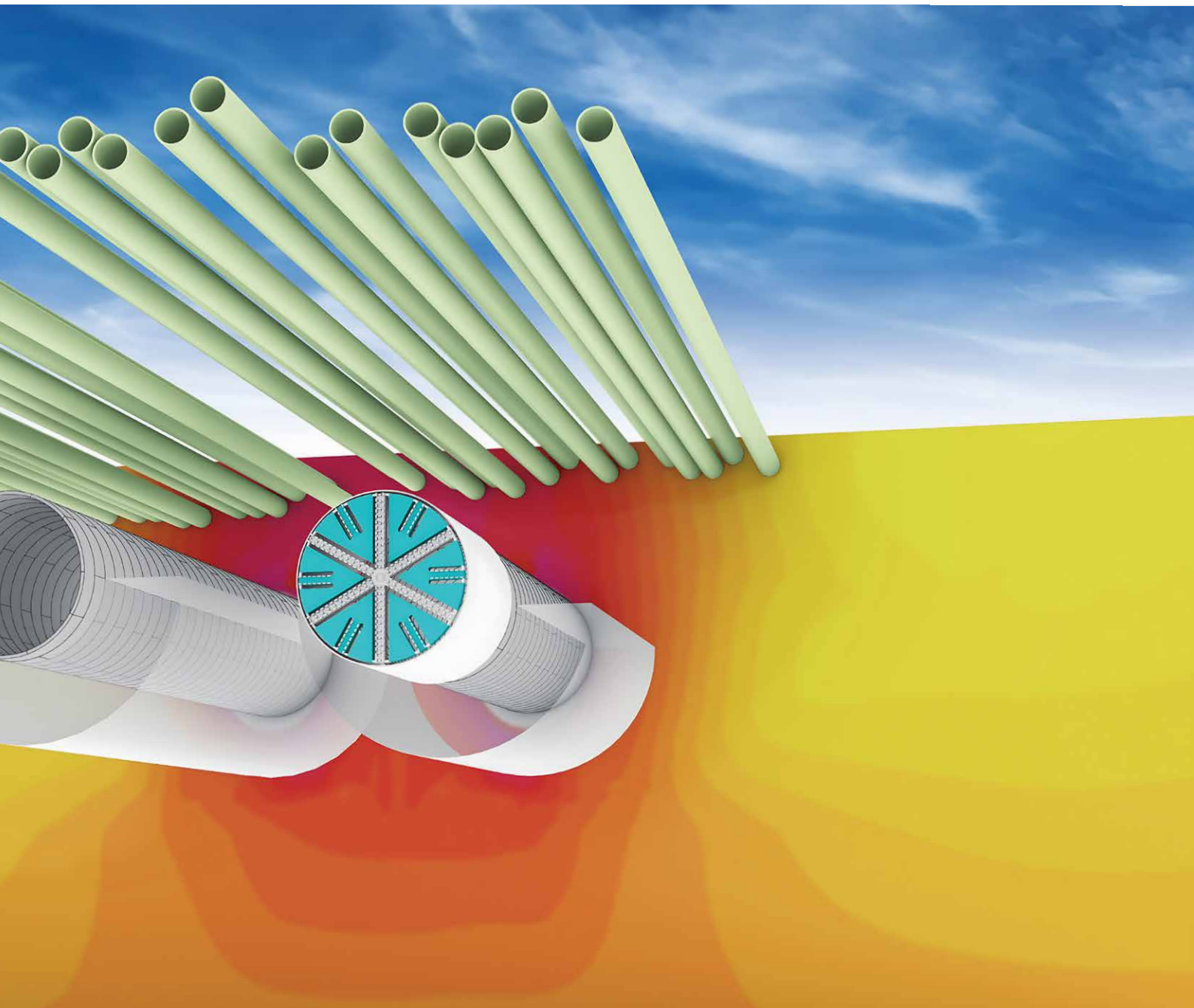
協理

倪睿謙



▲ 高雄捷運淺覆土潛盾隧道抗液化二次灌漿工法示意圖

因高度都市化的擴張，捷運潛盾隧道已成為容納交通流量的重要基礎設施，但是隨著潛盾推進技術和地盤改良工法的精進發展，對於穿越不同液化覆土深度之潛盾隧道行為，以及用來抑制隧道結構變形的灌漿改良體配置、形狀和面積設計，仍缺乏學理和技術性相關研討。因此，本文透過數值分析手法，就潛盾隧道環片外灌漿配置對隧道抗浮影響進行研究，希冀對不同設計地震力下之最適灌漿體配置和灌漿體面積提出建議，以提供液化土層中潛盾隧道設計參考。



壹、前言

潛盾隧道是臺灣都會區容納交通流量的重要基礎設施。隨著都市化持續擴張，潛盾隧道和地下設施的施工環境日益複雜，例如大深度施工、地下構造物／管線障礙和遭遇液化土層等。當我們聚焦在液化土層中潛盾隧道的抗震性能時，儘管隧道環片接頭具有縱向延伸的柔度，可以適應地震所產生的土壤變形以達到抗震效果，但根據 Wang et al. (2009)、Sudevan et al. (2020) 的研究〔18；23〕顯示，有許多地下構造物在強烈地震下發生嚴重損害，由 1999 年土耳其大地震、2011 年日本 311 大地震、2011 年紐西蘭基督城地震後的災害調查可知，災害場址大都位於土壤液化潛勢區域〔7；12；21〕，其致災原因除了土壤液化激發的超額孔隙水壓力，改變原狀土壤的動態特性之外（例如剪力強度衰減、自然週期增加，導致地下構造物沉陷或傾斜），這些地下結構的受災特性，大都和結構承受的上浮力大於自重有關。

Chian et al. (2014) 和 Zhuang et al. (2016) 進一步指出，液化土壤中構造物的受震行為〔2；27〕，除受低頻地震力與構造物尺寸控制外，淺覆土對構造物上浮之影響也值得關注。一般而言，地下構造物上浮主要受三個因素所致：

- (1) 隧道結構下方土壤超額孔隙水壓力的累積。
- (2) 隧道結構兩側摩擦阻力伴隨著超額孔隙水壓力的激發而減少。
- (3) 隧道結構兩側土壤沿隧道底部滑動。

過去 30 年，已有許多研究透過模型試驗與數值分析探討液化土壤的動態特性和行為。其中以國際聯合計畫（LEAP）成果最為豐富。他們透過離心機物理模型試驗和數值分析驗證，探討土壤液化各種問題，並以動態三軸試驗數據為基礎，開發了幾種描述土壤液化行為的土壤組構模型，這些模型可以有效地預測地震作用下，砂土的應力狀態和重現液化前後的砂土遲滯行為〔1；13；16；17；22；24〕。

近幾年，也有許多研究透過振動台試驗和數值分析，針對液化土壤中構造物的耐震性能和破壞機制進行調查，由其研究成果顯示，隨著地下構造物襯砌厚度增加，構造物受上浮力的影響減少了，這歸因於構造物重量增加對上浮阻力的影響〔5；6；10；25；26〕；Chen et al. (2018) 進一步針對不同埋設深度之矩形隧道的地震反應進行比較研究〔5〕，證明液化土壤中地下構造物所受的內力和變形，比座落於非液化土壤大；Zhu et al. (2021a) 則是使用振動台試驗模擬液化土壤和地下構造物間的動態互制行為〔25〕，提出當地下構造物之覆土愈淺（輕），隧道的應力－應變行為受土壤液化影響愈大的觀點。

數值分析方法的進展，也使學者能更細緻探討潛盾隧道在液化土層中的內力行為。Lu and Hwang (2019) 利用有效應力分析法〔14〕研究線彈性圓形隧道在不同液化覆土深度下之受震反應和內力變化，結果顯示當隧道位於液化土層中央時，覆土厚度影響了隧道的上浮行為，而且當潛盾隧道穿過可液化和不可液化土層交界時，隧道內力和變形將大幅增加。Zhu et al. (2021b) 則透過三維非線性動態分

析〔26〕，探討地表結構物對液化土壤中構造物之內力影響，並指出當地下構造物上方有地表結構物時，隧道環片的內力將明顯增加，且抑制了孔隙水壓力激發所引致之隧道上浮。有別於上述研究，將潛盾隧道簡化為一均質圓環，以及專注在液化土層中潛盾隧道變形行為的討論，Shen et al. (2022, 2023) 進階地考慮了真實隧道環片的設計〔19；20〕，使用混凝土材料和螺栓來模擬其非線性的力學行為，期可合理捕捉隧道環片受震後的軸力、剪力和彎矩等內力變化。

在地質條件假設方面，過去研究大都以單一液化土層或液化／不可液化互層假設進行分析，這可能低估了三明治液化土層（液化層位於非液化土層中間）中潛盾隧道的地震反應，而且尚未探討液化／不可液化土層與隧道之相對空間和覆土厚度變化時，對隧道之受震行為可能產生的影響。因此，Shen et al. (2022, 2023) 以三明治液化土層為基礎〔19；20〕，探討潛盾隧道在液化土層中相對空間變化時產生之行為差異，發現當隧道穿越液化土層時，周圍變形較大的土體會對地下結構產生推擠作用，並加劇隧道的動力反應，故在條件允許情況下，設計時可調整隧道仰供下緣位置至非液化土層上（如有可能），避免隧道埋入液化土層中，確保其抗震安全性和性能。

上述研究雖有助於我們瞭解液化土層中，潛盾隧道的震害機制、上浮／沉陷量評估、環片受力評估、以及瞭解液化層－隧道間相對空間變化之行為影響，卻鮮少針對液化土層中的潛盾隧道的耐震性能和互制行為有諸多探討，亟難將相關成果推動於實務工程應用。本文為推動相關數值分

析成果回饋予實際工程所用，假設當操作工法被限制僅能由隧道環片內二次灌漿孔進行低壓力灌漿時，潛盾隧道在不同覆土條件下，灌漿改良體的形狀配置、灌漿改良體的面積、和灌漿改良體強度，是否對其抗浮和受震行為造成影響，將透過數值分析進行澄清，期能精進淺覆土和液化土層下潛盾隧道設計程序。

貳、大地土壤液化分析工具

目前大地工程使用的土壤液化分析軟體，關於飽和砂土之組構模型，大多專注於初始液化前行為的描述，能夠反應初始液化後之應力－應變行為的土壤組構模型和軟體並不多見。依文獻蒐集，本文概略整理目前廣泛使用的幾種土壤液化分析軟體和被採用的液化組構律如表 1，包含 FLAC、PLAXIS、OpenSees、FLIP、MIDAS GTS、ABAQUS 及 LIQCA 等。上述軟體和組構模型在土壤液化分析都有一定應用性，故使用的選擇，除了首重軟體功能和計算效率外，分析參數的掌握和使用經驗也是評估的關鍵要素。

依上述設定條件，本研究選用開源軟體 OpenSees（地震工程模擬開放系統）進行旨揭問題的分析。就實用性而言，儘管 PLAXIS 在 2D 和 3D 數值模型建立和分析操作具有便利性，在土壤液化課題的研究和實際應用，也都經過了測試和驗證，但土壤液化模型之分析參數的建議則須仰賴研究工作者，透過元素測試和相關進階土壤試驗取得，存在相當程度的不確定性〔3；4；8；9〕。

由於 OpenSees 是向所有使用戶完全開放的原始程式碼，各部分程式碼都具有

表 1 常見之土壤液化組構模式和代表軟體

組構律	特性	代表軟體
Kinematic Hardening Model	基於動態硬化理論，可模擬循環荷載下土壤的硬化行為及塑性變形行為。	LIQCA, ABAQUS
PDMY (Pressure Dependent Multi-Yield Model)	考慮土壤的壓力依賴性，即土壤在不同壓力狀態下可能會表現出不同的降服特性，可模擬土壤的非線性行為，尤其是在壓實和剪切過程中的土壤行為	OpenSees
UBCSand (University of British Columbia Sand Model)	使用雙曲線模式控制土壤體積應變的變化，可用於模擬砂土的動態和變形行為	PLAXIS, FLAC, MIDAS
PM4Sand	使用 critical state 理論和邊界表面塑性理論所發展的模式，可模擬循環荷載下土壤的硬化行為和變形行為	PLAXIS, FLAC, OpenSees
Cyclic Mobility Model	考慮土壤的移動性和強度隨時間的變化特徵，用於模擬土壤的動態反應，包括液化和土壤的變形。	FLIP

完整功能且相對獨立，例如定義模型中元素、節點、基盤邊界等，或分析模組中的節點位移、元素內力等。OpenSees 針對上述功能描述都有對應的指令，但缺點是 OpenSees 僅開發計算核心，對模型和資料前後處理都沒有友善的使用者界面，因此使用者在操作時，還需使用 Tool Command Language (TCL) 語言進行腳本編譯，以實現分析模型的建立。

另一方面，OpenSees 計算結果輸出，只能以數字格式產出，圖形化和視覺化輸出仍是 OpenSees 亟待改進的方向。為了方便進行建模分析，以及後續分析結果的視覺化，本研究採用 GiD+OpenSees Interface 外掛程式，協助數值分析執行前／後處理，期能善用物件方式添加各種材料模型、單元資訊和邊界條件等，以提高數值建模效率。

參、分析軟體的驗證

本文為確認採用 GiD+OpenSees 軟體，在液化土層中潛盾隧道反應分析的應用性，使用一個國外歷史案例來驗證其在液化土壤 - 隧道間之互制、隧道上浮量和潛盾隧道變形行為模擬的能力。由文獻的蒐集可知，目前紀錄在案且因土壤液化所導致之潛盾隧道上浮量，大約是 30~70 cm 左右 [8；12；21]，但是卻鮮少有離心機或振動台試驗探討其行為，故本文將以數值驗證方法來證明液化土中潛盾隧道分析的可行性，茲將相關細節說明如下：

一、驗證案例背景

1995 年神戶大地震時，神戶港附近因嚴重土壤液化而造成大規模建築物損壞。地震期間，土壤液化遍及整個神戶港，平均沉陷量約 20cm，在一些液化嚴重區域甚至超

過 50cm。如圖 1 為該區域地質之標準貫入試驗 (SPT-N value) 和剪切波速 (V_s) 剖面，由地表至 80m 深，分別為回填砂土、粉質黏土、礫石砂土、淤泥以及黏土所組成，地下水水位約位於 3 m 深 [11]。

Shen et al. (2022) 考量潛盾隧道通常由預鑄混凝土環片組裝而成 [19]，並使用橫向和縱向螺栓連接，與現場澆注隧道襯砌相比，潛盾隧道結構中的環片接縫降低了整體橫向和縱向剛度，影響襯砌結構內部力分布和變形。因此，當隧道穿越局部可

液化土層時，地震地面運動可能導致結構嚴重損壞，如襯砌開裂、環片變形和漏水等，故 Shen et al. (2022) 便透過數值分析來探討相關行為，如圖 2 為他們建立分析模型之液化土壤和潛盾隧道之互制示意圖 [19]。

為驗證本文採用分析工具和分析程序的可靠性，本研究將以 GiD+OpenSees 軟體重建 Shen et al. (2022) 分析模型並進行加速度、超額孔隙水壓力和變形特徵之比對驗證。

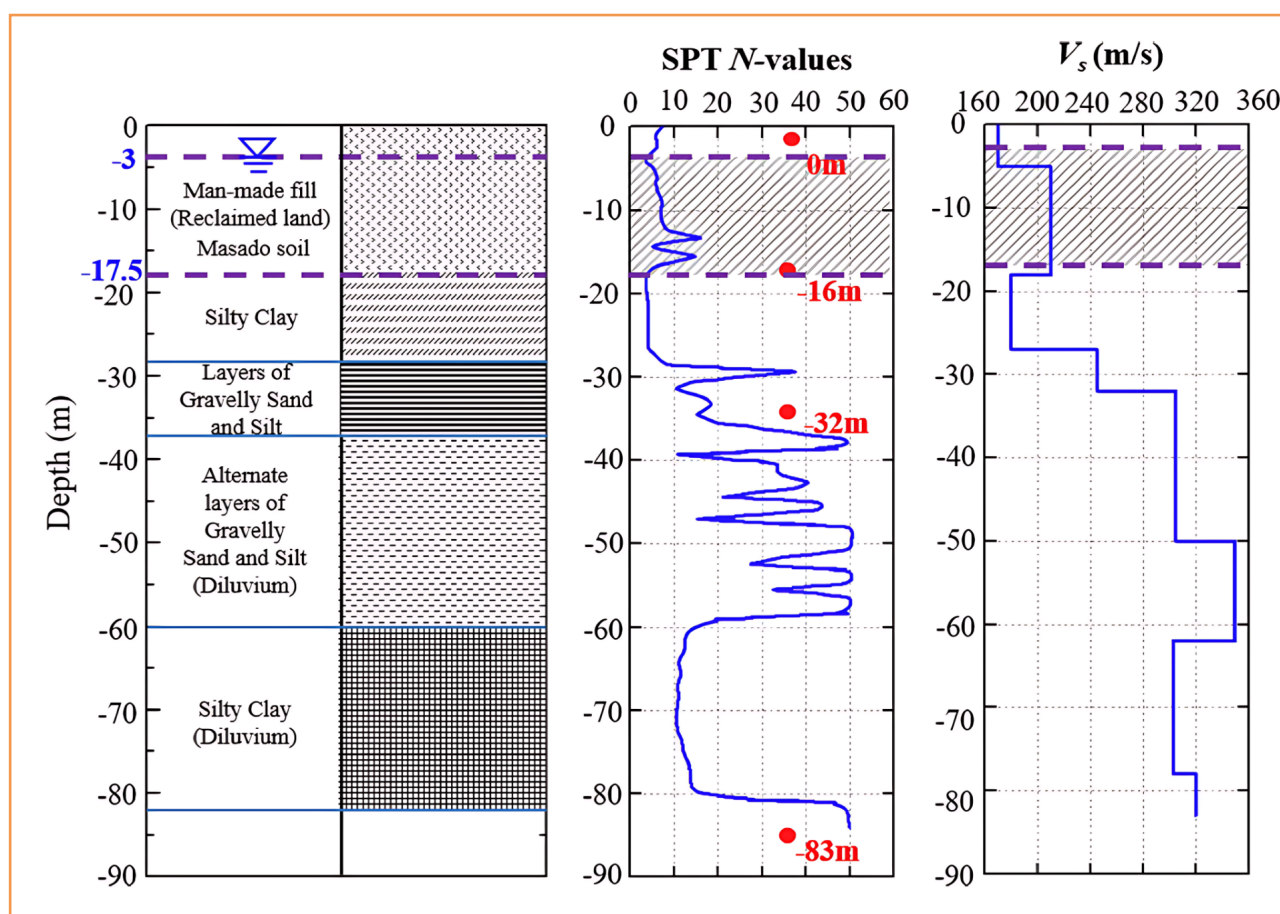


圖 1 驗證案例之地質調查剖面 (摘自 Shen et al. 2022)

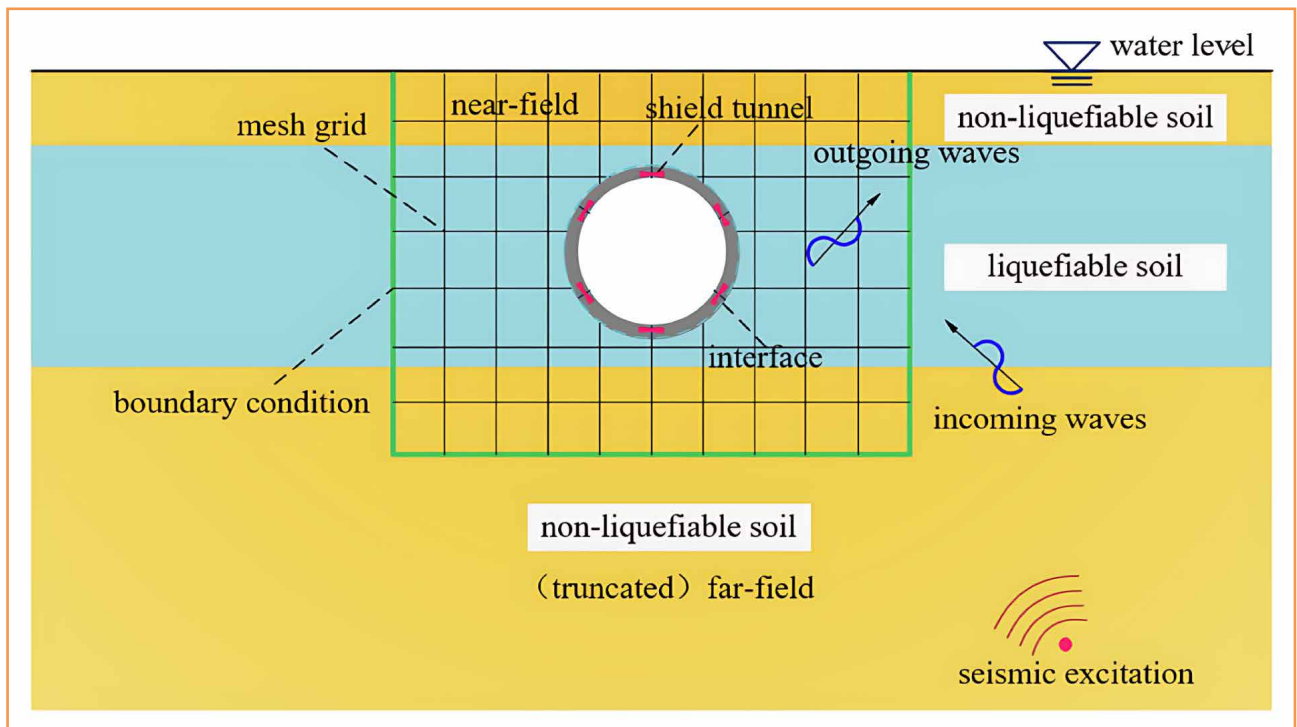


圖 2 驗證案例之液化土壤和潛盾隧道之互制示意圖（摘自 Shen et al. 2022）

二、驗證模型和參數

由上述案例背景可知，液化土層中潛盾隧道外徑及內徑分別為 6m 和 5.4 m，為減少邊界效應的影響，可將隧道中心線兩側邊界設置於約 8 倍隧道直徑外。另為提高分析結果準確度，隧道周圍的元素分割應以小尺寸網格為主，向外幅射區域則可透過放大網格尺寸來提升整體分析效率。如圖 3 為 Shen et al. (2022) 依上述地質條件所建和本文使用 GiD+OpenSees 重建的模型，二者之網格劃分完全相同，使用了 6144 個元素與 6494 個節點。

除了上述網格和使用元素之外，礙於參數取得和分析軟體版本差異，本研究在重建模型過程，關於分析參數、邊界條件和組

構模型的使用仍和 Shen et al. (2022) 有些不同，茲摘要說明幾個不同的重點：

(一) Shen et al. (2022) 使用的環片材料為可模擬混凝土非線性行為的 Damage2P 模式，而本文是採用彈性材料。

(二) Shen et al. (2022) 所提供的分析條件和參數資訊並不完整，因此不足的資訊，須透過其他文獻進行合理假設及校正。

(三) 考量到砂土應力導致的緻密作用，土壤剪力模數與體積模數應透過經驗式進行修正。

(四) Shen et al. (2022) 使用的土壤液化模型為 PM4 Sand model，本文則是 PDMY model。

由於驗證案例並未提供完整之分析參數設定，本文在分析程序上，除依循 OpenSees 使用手冊的參數校正方法與程序進行分析參數的設定，亦納入覆土應力的影響，使用 Park and Byrne (2004) 提出之轉換公式進行現場地質之相對密度修正 [15]，使得液化砂土及非液化黏土層的剪力和體積模數能夠符合真實的地質條件，以反映出更細微的土層差異與土壤特性。

三、驗證結果

本文重建分析模型和驗證案例分析結果的比較，將以隧道中心剖面與自由場剖面受震後的加速度、超額孔隙水壓力和隧道周圍上浮歷時為觀察重點（如圖 3 之 F 點～E 點和 F' 點～E' 點）。

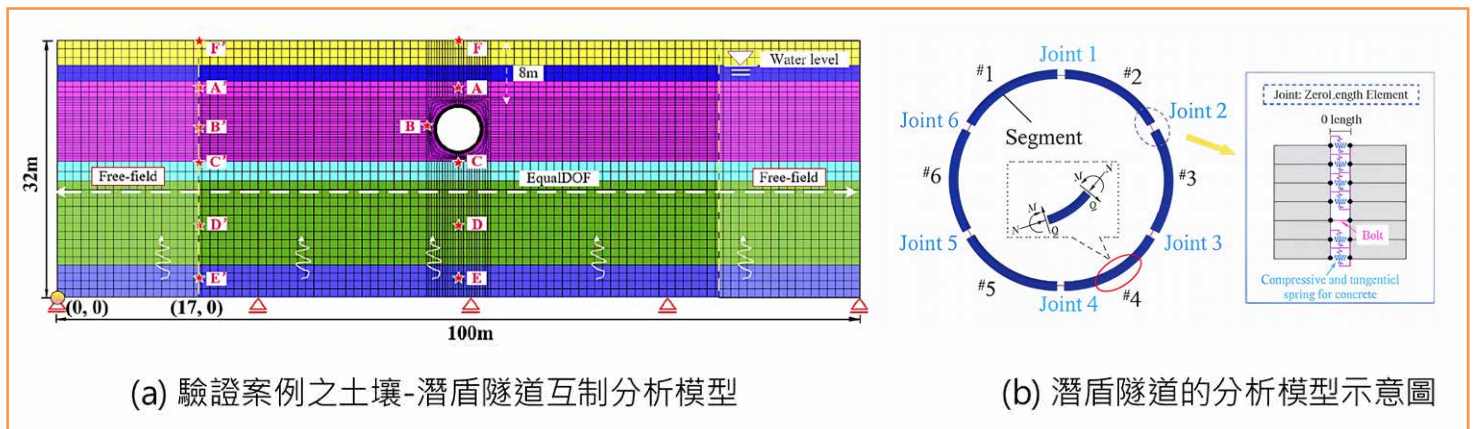


圖 3 驗證案例之：(a) 土壤 - 潛盾隧道互制分析模型；(b) 潛盾隧道的分析模型示意圖（摘自 Shen et al. 2022）

首先，從加速度歷時來看（圖 4），相較於輸入地震歷時，二者皆發現土壤液化的發生使得加速度反應有減弱趨勢，且在土壤－隧道互制的中心剖面，凸顯了地下結構在一定程度地減弱了地震加速度的幅度。

其次，地震動態模擬所激發的超額孔隙水壓力（圖 5），包含累積於液化層底部的超額孔隙水壓與隧道周圍的水壓消散情形，發現在主震過後，由於深層土壤的孔隙水壓向上發展，使該處土壤的超額孔隙水壓比率先下降，反之淺層土壤則維持液化狀

態，故超額孔隙水壓與液化現象，也相當程度地解釋了潛盾隧道的位移反應。

再者，由受震後垂直位移、總位移之等值圖和位移向量圖的比較（圖 6）可知，二者所得數值雖有些微差距，但趨勢一致。進一步聚焦在隧道環片四周上浮量歷時結果比較（圖 7），可知隨著受震強度與液化現象依序發生後，隧道上浮量逐漸加大，說明本文重建分析模型可以具體地掌握隧道完整受震過程的位移發展情形。

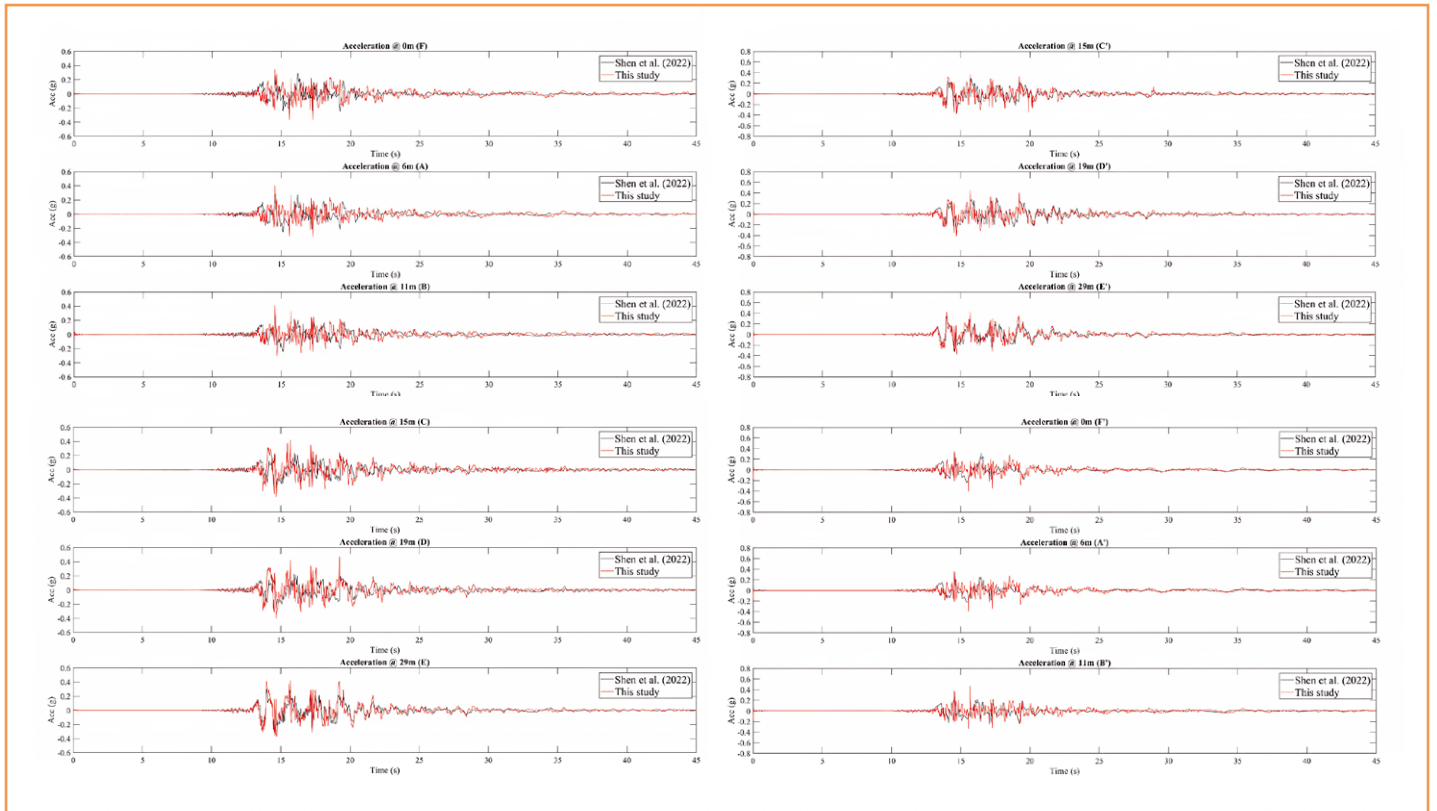
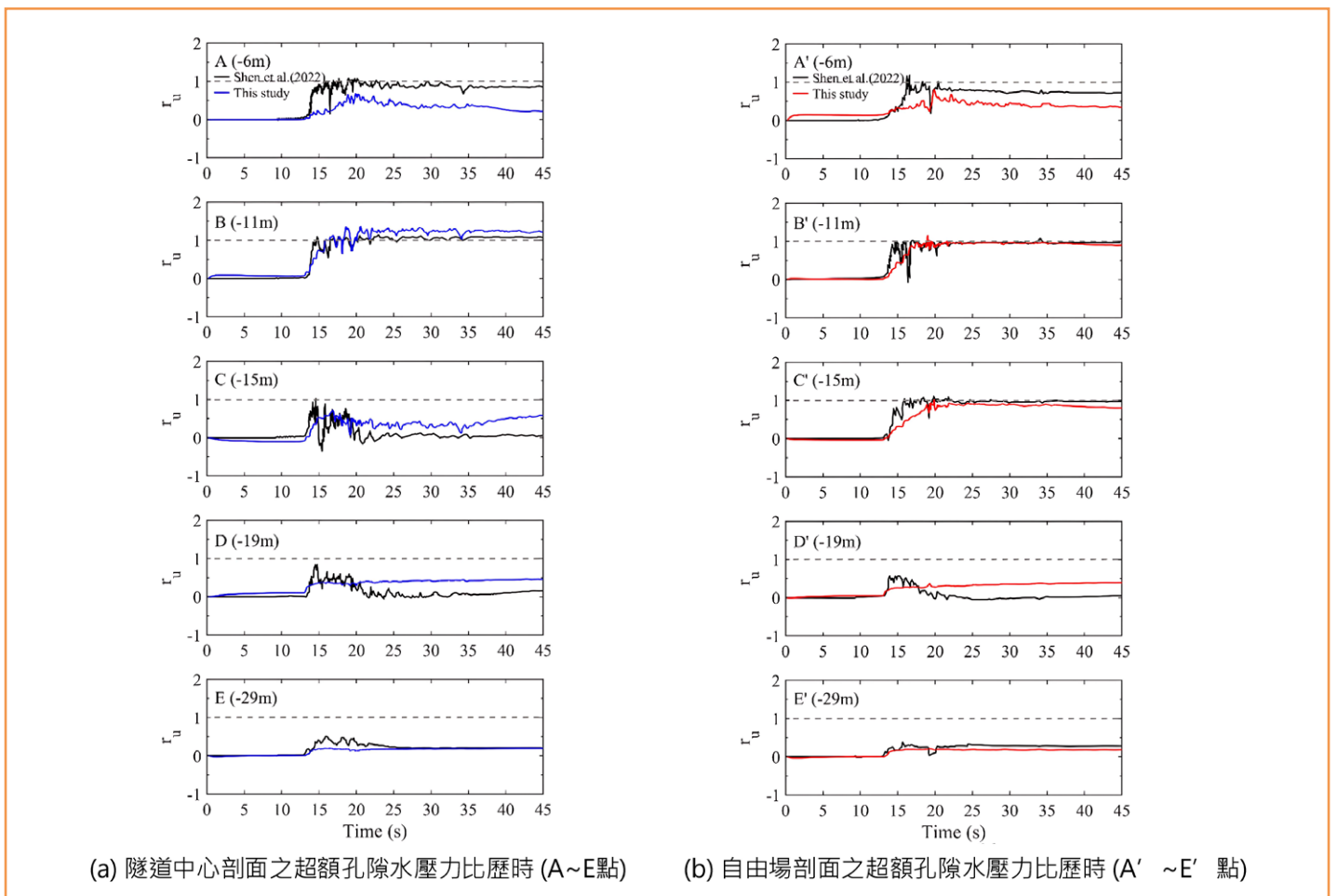


圖 4 本文重建分析模型和驗證案例之加速度結果比較：(a) 隧道中心剖面；(b) 自由場剖面

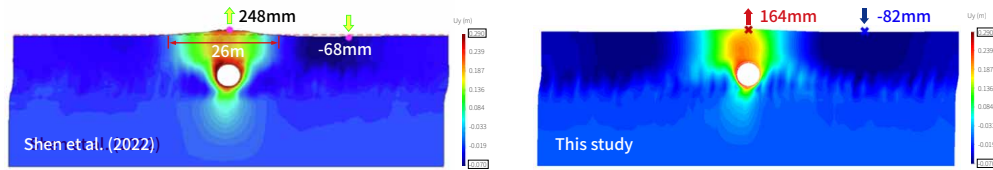


(a) 隧道中心剖面之超額孔隙水壓力比歷時 (A~E點)

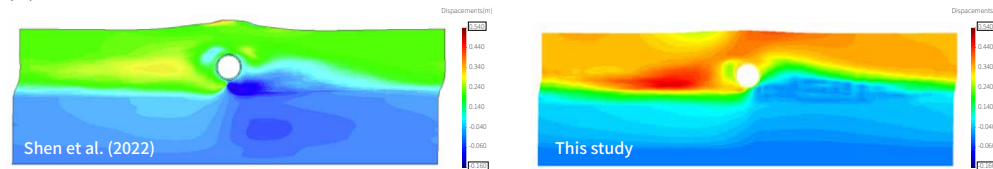
(b) 自由場剖面之超額孔隙水壓力比歷時 (A' ~E' 點)

圖 5 本文重建分析模型和驗證案例之超額孔隙水壓力比結果比較：(a) 隧道中心剖面；(b) 自由場剖面

(a) 垂直位移分佈圖



(b) 總位移分佈圖



(c) 總位移向量分佈圖

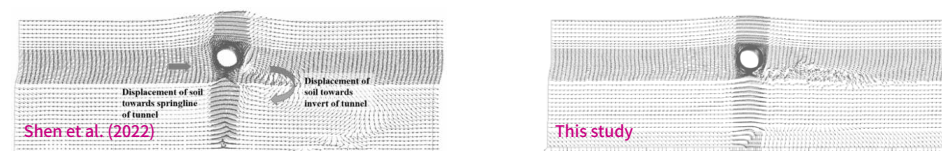


圖 6 本文重建分析模型和驗證案例之：(a) 垂直位移；(b) 總位移；(c) 總位移向量場結果比較（最終時間）

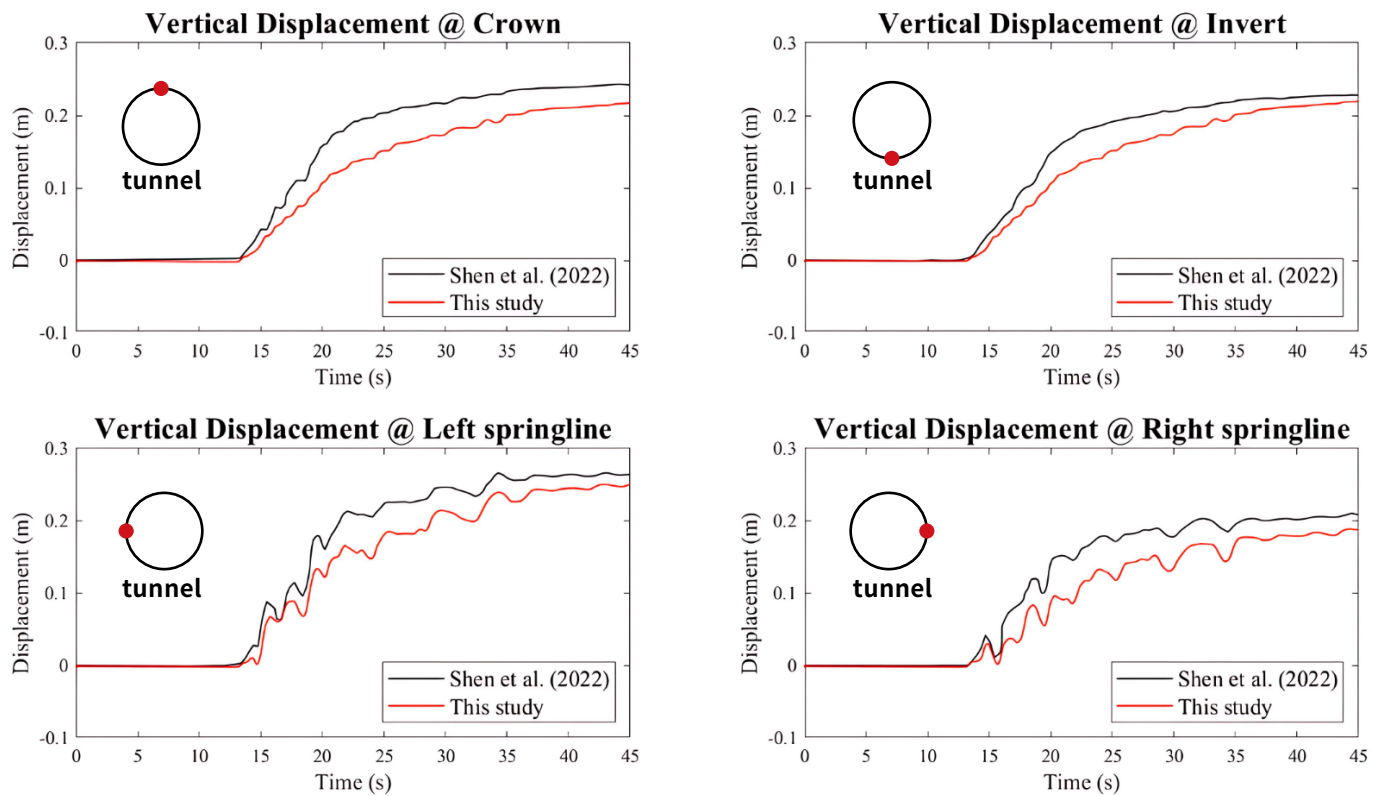


圖 7 本文重建分析模型和驗證案例隧道環片四周上浮量歷時結果比較

綜合上述驗證成果，顯示本文所選用的數值分析工具 GiD+OpenSees 具有一定程度的可靠度，對於液化層中潛盾隧道的重要關注指標：加速度響應、超額孔隙水壓趨勢以及上浮機制亦具有掌握度，可滿足後續實際案例討論之分析需求。

肆、實際案例分析

國內潛盾隧道在產、官、學界的共同努力，已累積近 30～40 年的經驗，但近年因都市開發密度不斷擴張以及施工環境愈來愈複雜，許多規劃中、設計中甚至營運中之地下捷運隧道系統，有不少比例在高地下水位情況穿越沖積土層，加上潛盾隧道路線鄰近出土段時，淺覆土和中高液化潛勢將是設計和施工所面臨的難題。

儘管，這個問題在早期臺北捷運隧道建設時被發掘，但實務設計之工法應用和規劃，以及施工成效尚缺乏學理方面的研究驗證。本文為推動相關研究成果能為實務設計和施工所用，將以上述驗證程序為基礎，針對高雄市某穿越中、高度液化潛勢地層的捷運潛盾隧道，進行上浮和抗上浮的影響分析，茲將本案例背景、地質情況、分析模型和作用地震力等細節說明如下：

一、案例背景和地質

高雄市某捷運潛盾隧道設計時，為克服穿越中高度液化潛勢土層、淺覆土承載以及路面施工障礙等問題，當侷限施工操作方法僅能限制由隧道環片內二次灌漿孔進行低壓灌漿，潛盾隧道在不同覆土條件下，灌漿改良體的形狀配置、灌漿改良體的面積和灌漿改良體強度，是否對其抗浮和受震行為造成影響，將在本文進行一系列探

討，期能精進淺覆土和液化土層下潛盾隧道設計程序。

依據地質調查報告顯示，該場址地質主要為高雄市典型的粉土質砂，具有中、高度液化潛勢。然而，為簡化數值分析中地質參數決策的複雜性，本文僅取用代表鑽孔資料作為後續分析參數取得和轉換之基礎。由圖 8 之 SPT-N 值和基本物理性質分布可知，該場址之地下水位約位於地表下 2.2 m，地質至深度 60m 主要以粉土質砂為主，僅在 17.5 m～26 m 之間夾有薄層黏土和沉泥質細砂。

在潛盾隧道設計時，除建議依《鐵路橋梁耐震設計規範》(2021) 和《建築物基礎構造設計規範》(2023) 進行土壤液化潛能評估〔28；29〕，以瞭解案例場址之土壤液化潛能是否滿足設計需求外，為使用進階數值方法進行液化分析，尚應根據使用的土壤液化模式進行分析參數的轉換。舉例來說，本文使用 OpenSees 軟體模擬土壤－潛盾隧道互制的液化行為，採用的土壤液化組構模式為 PDMY 模式，其發展係以乾淨砂之三軸試驗或離心機試驗所得結果而開發，故模式中之相關建議液化參數的選擇，也是以乾淨砂狀態之相對密度 (relative density, D_r) 來區分。因此，真實地質調查資料無法直接被數值模型所使用，必須透過相關理論基礎和經驗公式，將現地調查參數轉換為乾淨砂相對密度 (圖 9)，俾利數值分析使用。

另外，數值研究中經常會透過土層的適當簡化來單純化分析條件，以提高分析效率。本文依照上述地質情況，並經一系列測試結果建議標準數值模型的土層深度為 26m，並依據網格切割條件劃分為七

個分層，其中第一層為地下水位上之砂土層 (SM)、接續四層為飽和砂土質液化層 (SM)、最下兩層則為黏土質非液化層 (CL 與 ML 夾層)。同理，簡化分析土層厚度內的土壤參數則依據相對密度和相關參數估算原則進行設定，惟各分層厚度內的參

數，例如剪力模數和體積模數等採用加權平均方式進行等值厚度土層參數的計算，如表 2 為實際案例簡化之等值土層厚度使用之分析參數列表。

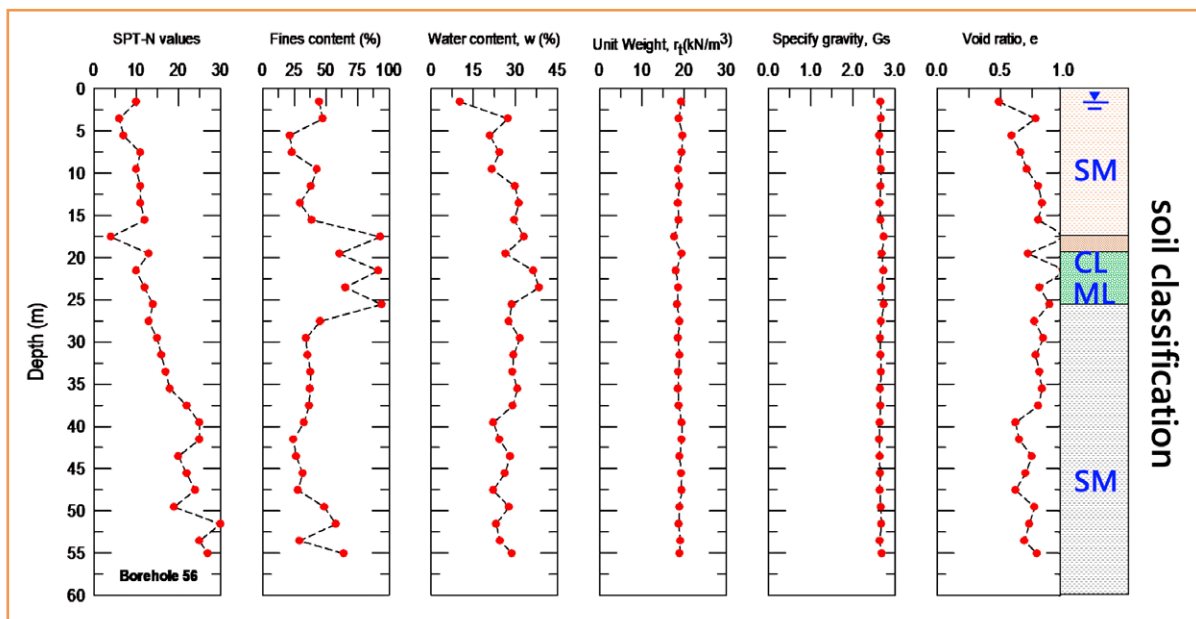


圖 8 實際分析案例之地質調查剖面 and 物性參數分佈圖

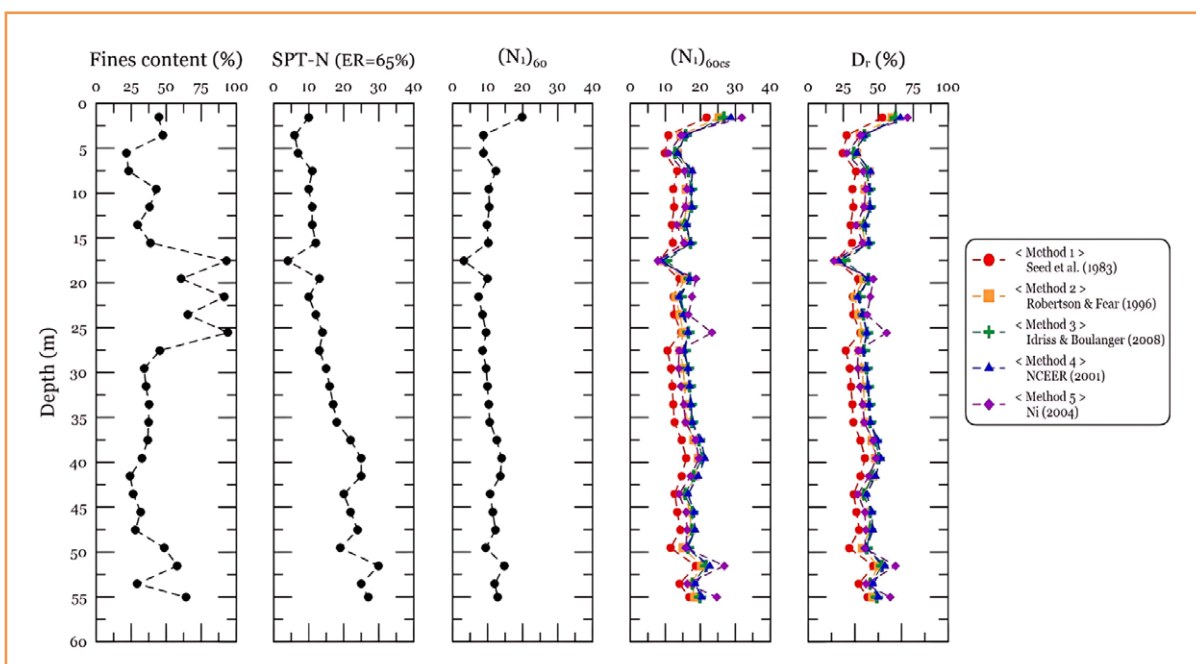


圖 9 現地調查參數轉換為乾淨砂相對密度結果 (含不同方法之比較)

二、分析模型建立

依據案例地質情況的說明和相關土壤液化分析設計之指引建議，僅關注地下 20m 深度之液化土的影響時，分析模型之土層深度可設置於非液化層底部交界 26m 處。類似驗證案例，本案例為典型的三明治液化土層分布，然而鄰近出土段潛盾隧道因線形爬升過程，其覆土不斷改變，當假設折衷方案，即潛盾隧道位於液化土層中央時，其上方覆土 6.8m 厚，隧道外徑依實際設計尺寸設置為 6.1m，距下方非液化土層距離約 4.6m，而分析模型兩側邊界仍可設置於約 8 倍隧道直徑外，以區分土壤一

隧道互制界限與自由場領域，期能降低邊界效應的影響。

同時，本文以二維模式進行分析，為確保分析結果的可靠度，元素網格切割以小於輸入運動波長的 1/10 倍為原則，故隧道周圍的元素分割為 0.5 m x 0.5 m，向外幅射區域則可透過放大網格尺寸為 1 m x 1 m 以提升整體分析效率。整體而言，完整數值模型共計有 4630 個節點與 4384 個平面元素（圖 10）。

表 2 實際案例簡化之等值土層厚度的使用之分析參數列表

編號	深度	土壤種類	孔隙比	土壤單位重	相對密度	凝聚力	有效摩擦角	滲透係數	剪力模數	體積模數
No.	Depth (m)	Soil type	e	γ_{sat} (tf/m ³)	D_r (%)	c (kPa)	ϕ (°)	k (m/s)	G_r (kPa)	B_r (kPa)
1	0.00-2.20	PDMY medium-dense sand	0.490	1.97	80	-	34.88	6.6×10^{-5}	41,156	89,068
2	2.20-4.20	PDMY medium sand	0.780	1.94	54	-	31.98	6.6×10^{-5}	48,394	118,228
3	4.20-9.85	PDMY medium sand	0.625	2.01	56	-	32.36	1.0×10^{-6}	73,450	176,500
4	9.85-15.50	PDMY medium sand	0.780	1.93	56	-	32.23	1.0×10^{-6}	75,861	183,322
5	15.50-17.50	PDMY medium sand	0.800	1.92	55	-	32.20	1.0×10^{-7}	84,684	204,922
6	17.50-21.75	PIMY medium clay	0.923	1.90	-	37	0	1.0×10^{-6}	78,762	127,929
7	21.75-26.00	PIMY medium clay	0.850	1.92	-	37	0	1.0×10^{-7}	97,009	171,268

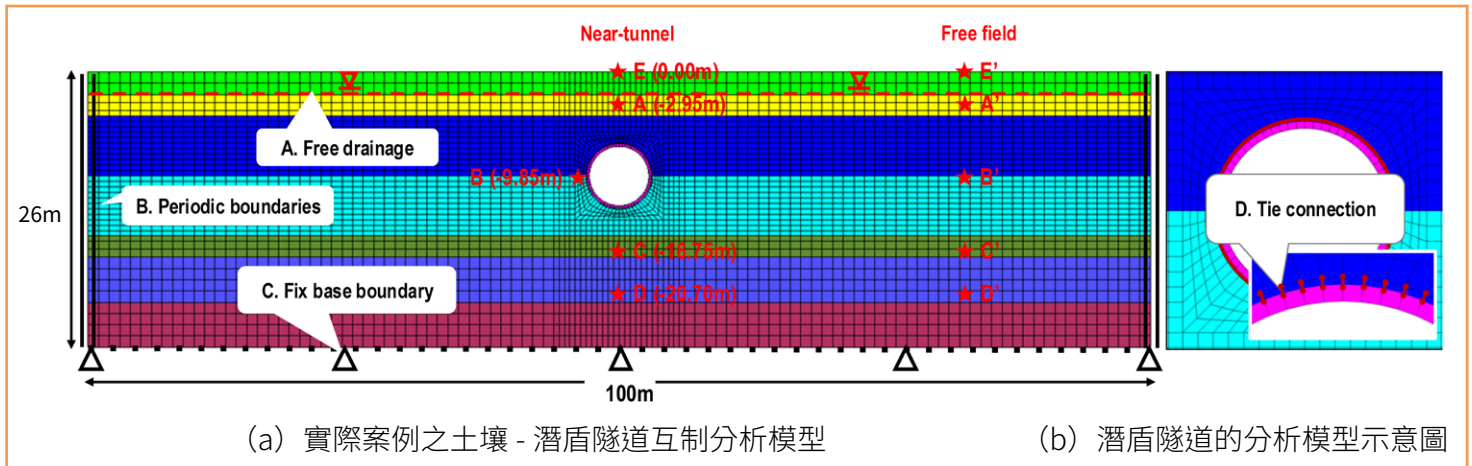


圖 10 實際案例之：(a) 土壤 - 潛盾隧道互制分析模型；(b) 潛盾隧道的分析模型示意圖

同驗證案例之邊界條件設定原則，實際案例的邊界條件設定如圖 10 所示：

(一) 地表下 2.2 m 以上的土壤皆設為自由排水，以反映地下水位條件。

(二) 兩側邊界設置週期性邊界條件，即相同的自由度有助於減少邊界效應的影響，使其動態行為傳遞更接近真實情況。

(三) 絕對加速度的分析方式，強制限制了底部邊界所有節點之自由度，並由此朝地表向上輸入地震作用力。

(四) 依據驗證程序分析經驗與測試結果，綁定隧道環片與相鄰土壤節點的自由度，以避免勁度差異過大造成分析收斂性問題。

另外，本文現階段為聚焦於液化覆土變化和地盤改良配置／形狀對潛盾隧道運動行為的探討，故不考慮潛盾隧道環片之內力變化的討論，即沒有考慮環片接頭的設置，而是使用等值隧道環片的設計，以等值線彈性圓來表示隧道，如表 3 為分析使用之等值環片設計強度參數。

表 3 實際案例使用之等值環片設計強度

材料模型	環片元素種類	環片輸入參數		
		彈性模數 (E , GPa)	柏松比 (ν)	密度 (ρ , ton/m ³)
等值線彈性	Quad element	30.7	0.2	2.5

三、輸入設計地震力

本文為合理反映實際案例未來可能遭遇地震和土壤液化情形，依據其地質條件和鄰近歷史地震使用定比係數法進行加速度譜製作。如圖 11，其乃基於實際案例鄰近發生之地震的震央位置和代表地震，對應工址地震危害潛勢所擬合的設計反應譜。

由於實際案例之地質調查深度並未深入基盤，當假設分析土層深度（26 m 深）即是工程基盤，可透過調查的剪力波速計算地盤 V_{s30} 值，並依據建築物耐震設計規範之設計水準和相關規定係數，決定標的反應譜係數，如圖 11 所示，輸入設計地震力的長週期能量相對較高，可以反應場址效應

（約 1 秒），另外，在滿足 V_{s30} 之適用條件下，設計地震力允許乘以定比係數（縮放係數）為 1.26 ~ 4 倍。

伍、液化土壤中潛盾隧道上浮和抗上浮的影響分析

本文為精進淺覆土和液化土層下潛盾隧道設計程序，將以上述分析模型的分析成果為對照標準進行系列的參數研究（圖 12），以澄清液化土層中潛盾隧道上浮之影響因素和執行低壓灌漿時，灌漿形狀、配置和強度等對潛盾隧道抑制上浮的貢獻，茲分別將相關分析結果說明如下：

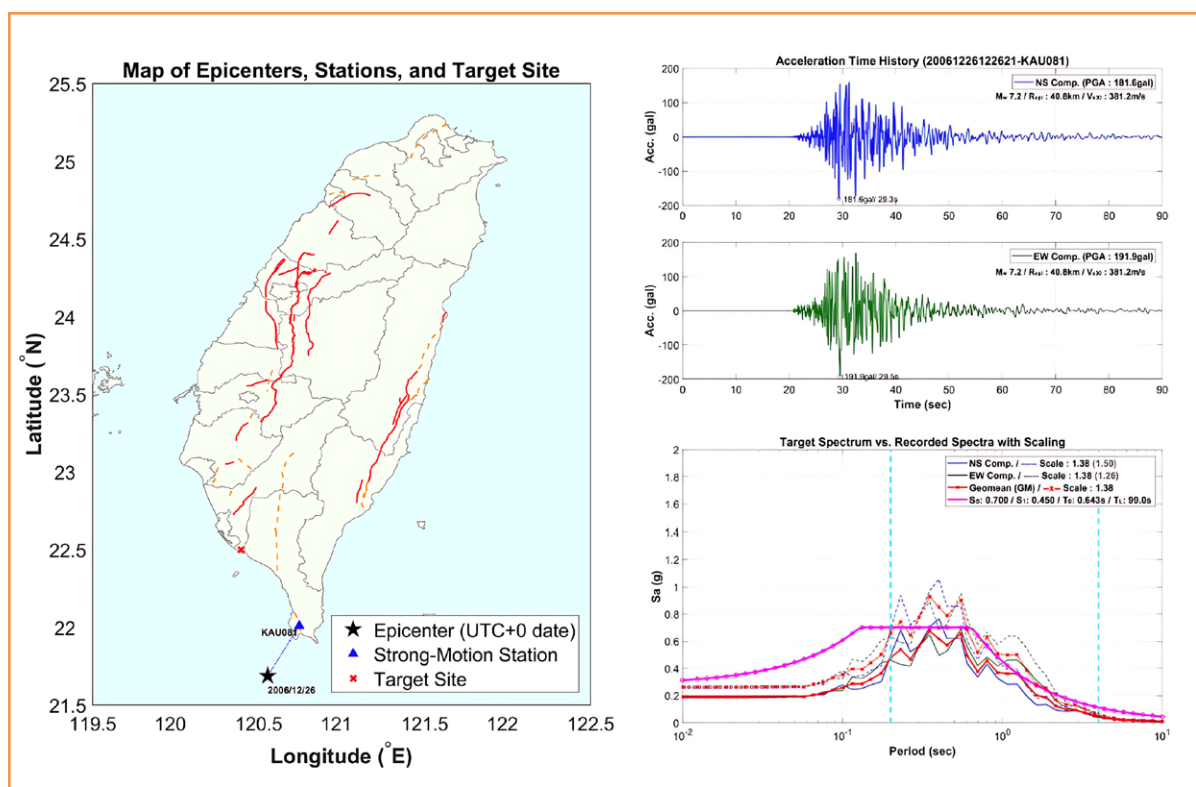


圖 11 實際案例分析輸入之地震反應譜

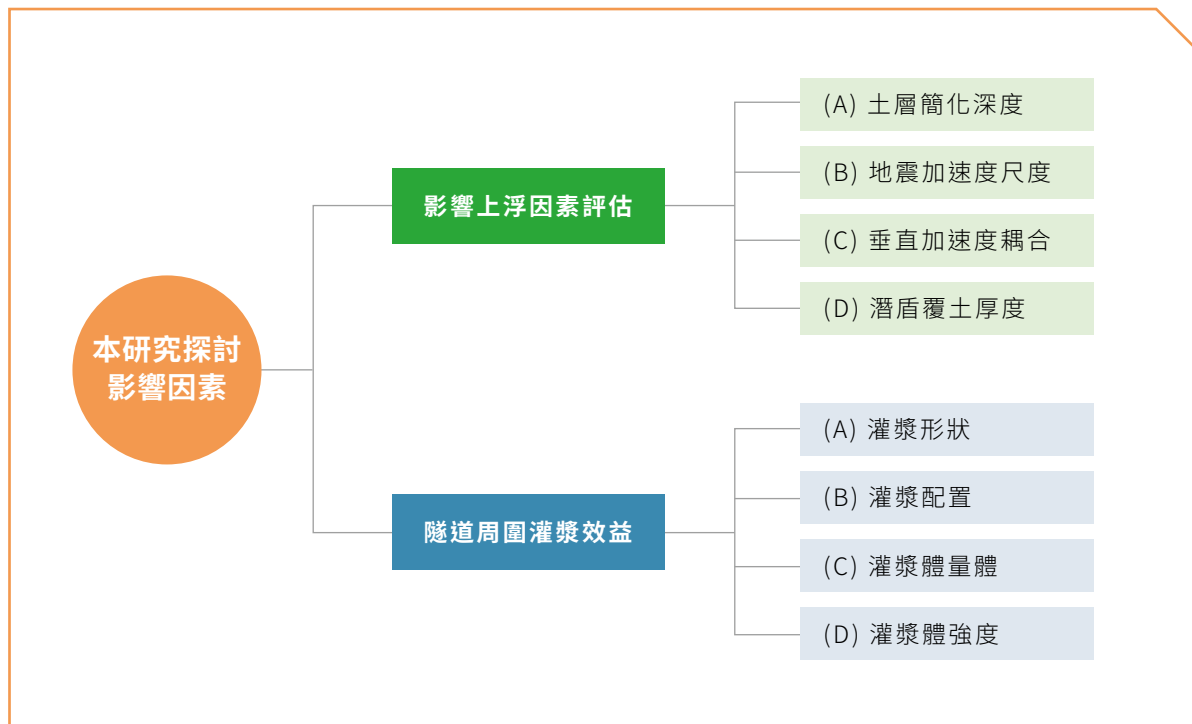


圖 12 液化土壤中潛盾隧道上浮和抗上浮的影響分析因素示意圖

一、液化土壤中潛盾隧道上浮的影響分析

一般而言，影響液化土壤中潛盾隧道上浮的因素眾多，如圖 12 目前本文因有明確之地質條件依據，故暫不討論地質參數變化之影響，僅就覆土條件（例如土壤剖面的簡化深度和覆土厚度）和作用地震力條件（例如強度和垂直地震耦合與否）討論其對隧道上浮之影響。同上所述，分析結果除了可清楚觀察各項影響因素對於加速度、超額孔隙水壓力和隧道變位的影響之外，因上浮量是潛盾隧道設計最具體之量化指標，故下列影響分析的比較，將以上浮量的增減百分比表示，期能更直覺地瞭解各因素對於上浮的影響比重，如圖 13 可將各項影響分析結果說明如下：

（一）如圖 13（a），當吾人將可能液化土層厚度由 55m 簡化為 26m 時，在設計角度

上中傾向保守，且這般的簡化除可提升分析效率之外，亦有助於典型三明治液化土層之行為探討和滿足相關土壤液化分析設計和指引的假設深度。

（二）作用地震加速度的強度對於隧道的上浮量相當敏感，當地表加速度（PGA）由 0.25g 增強至 0.39g 將導致顯著的上浮發生，這與強震誘發土壤液化程度有關，當土壤液化程度嚴重連帶促進潛盾隧道的上浮量增加（圖 13（b））。

（三）垂直向加速度一般遠低於水平向地震作用力（約 1/3 倍），但當二者耦合時，對於潛盾隧道的上浮影響明顯，這個現象在設計時應有周延的考慮，因雙向耦合的地震反應分析結果，將更接近真實受震情形（圖 13（c））。

(四) 潛盾隧道上方液化土壤覆土厚度對於最終地表上浮量具有一定的影響，隧道越接近地表，覆土厚度越淺，上浮量隨之增加；相對地，潛盾隧道若坐落於液化層底

部，則幾乎觀察不到明顯上浮，大幅降低了液化中潛盾隧道的穩定性風險（圖 13 (d)）。

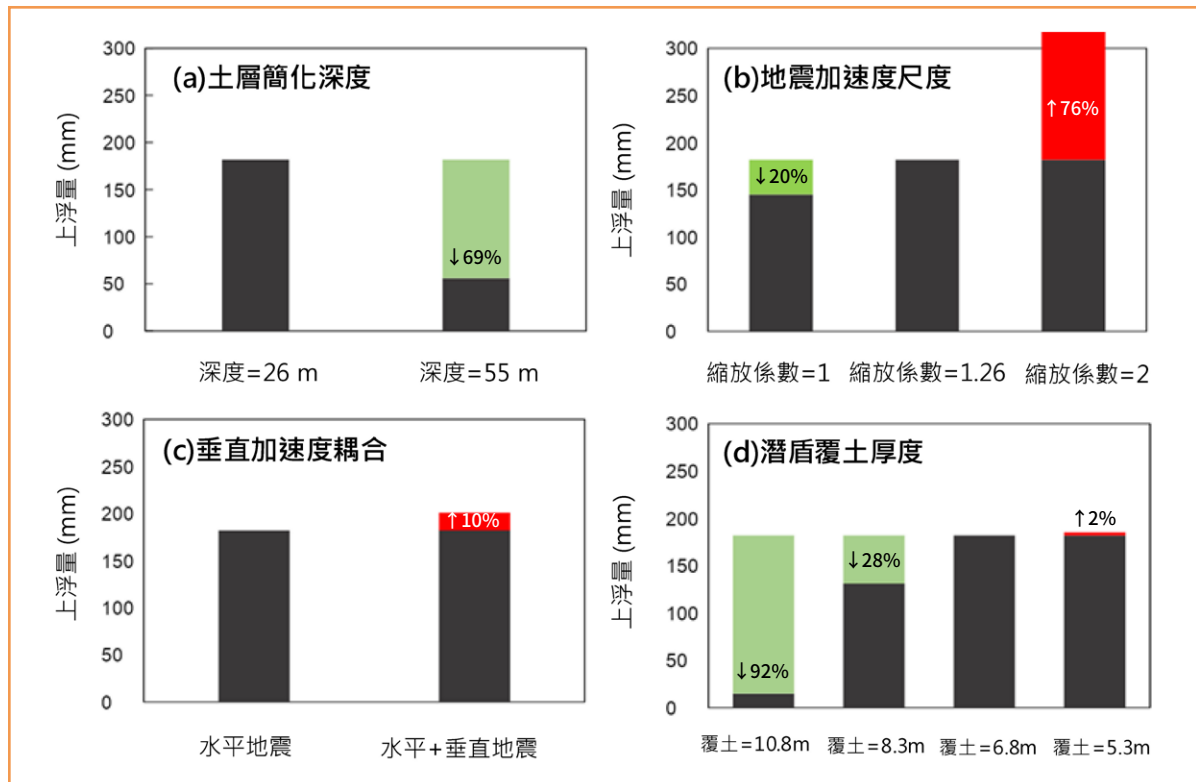


圖 13 液化土壤中潛盾隧道上浮的影響分析結果

二、潛盾隧道周圍灌漿對抗上浮的影響分析

由上述影響分析結果可知，液化土壤中潛盾隧道可能發生上浮，尤其在淺覆土厚度和大地震力的作用下，故設計階段規劃有效的抗浮對策成為必要的程序，期能提高淺覆土潛盾隧道的穩定性和安全性。當工法限制由隧道內二次灌漿工法進行低壓灌

漿時，吾人可以第肆節建立之標準分析模型為基礎，即假設潛盾隧道位於液化土層中間進行後續潛盾抗上浮之影響分析，如圖 12，討論的因素包含有：灌漿形狀、灌漿配置、灌漿量體以及灌漿體強度等，如圖 14 茲將各項影響分析結果說明如下：

(一) 如圖 14 (a)，當吾人以潛盾隧道外圍灌漿 1.5m (0.25 倍隧道直徑) 為基礎例，探討方形全斷面、圓形全斷面、方形(腰拱以下)半斷面和圓形(腰拱以下)半斷面比較其抗上浮效益時，發現不管是全斷面或(腰拱以下)半斷面灌漿體形狀，方形灌漿體的抗浮效益明顯優於圓形灌漿體形狀。

(二) 同第 1 點說明，由方形灌漿形狀全斷面和(腰拱以下)半斷面灌漿之比較可知，(腰拱以下)半斷面灌漿配置明顯較全斷面具有更好的隧道抗上浮表現。雖然這個現象會因形狀變化而有差異，但當結合灌漿量體的效益來評估，可知不管灌漿形

狀為何，(腰拱以下)半斷面灌漿配置明顯較全斷面灌漿配置對潛盾隧道具有較佳的抗上浮表現(圖 14 (b))。

(三) 灌漿量體愈大對潛盾隧道的抗上浮效益愈佳，但由圖 14 (c) 可知，其影響力不及灌漿形狀之貢獻。

(四) 如圖 14 (d)，灌漿體強度的變化對於潛盾隧道抗上浮貢獻的影響並不明顯，故可推論土壤液化防治灌漿材料的種類或許不重要，但其改變土壤滲透性和耐久表現應受重視。

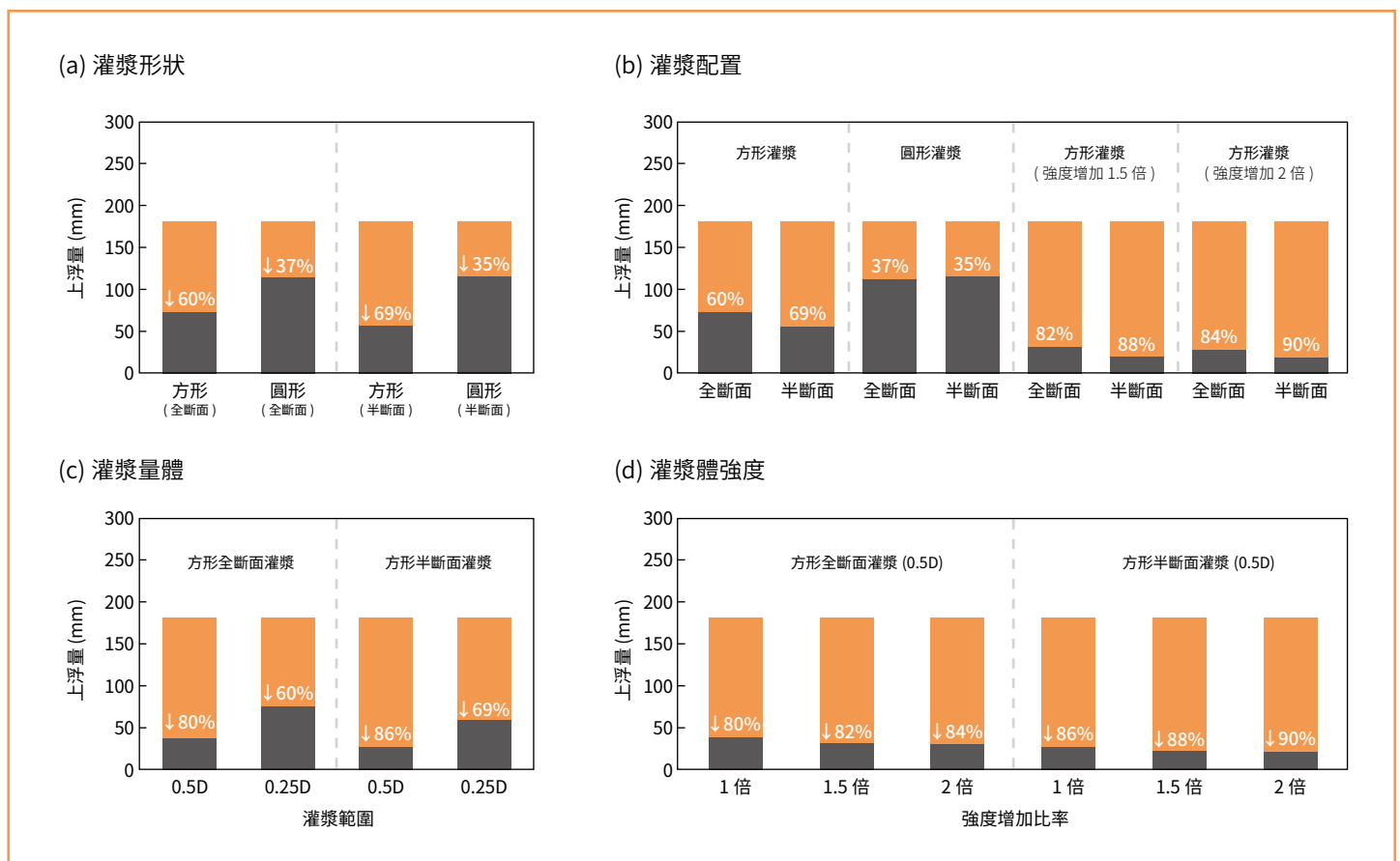


圖 14 潛盾隧道周圍灌漿對抗上浮的影響分析結果

陸、雙圓潛盾隧道之上浮和抗上浮影響分析

本文為了更符合真實情況，將單圓隧道擴充為雙圓隧道，即期望在相同地質條件（參數）、分析模型和作用地震力的條件下，比較單圓隧道和雙圓隧道之液化反應和隧道上浮情形，當吾人關注在地震結束時刻之隧道周圍反應時，除了最終超額孔隙水壓力分布外（圖 15 (d)），垂直位移分布、總位移分移和總位移向量圖（圖 15 (a) ~ (c)）皆顯示雙圓隧道的變形反應較單圓隧道小，其中，雙圓隧道之上浮量

（50mm）僅約單圓隧道的 0.27 倍，顯示雙圓隧道在互制作用下，除了改變土壤的液化行為外，也減小因土壤液化發生上浮的危害。由上述分析結果可知，液化土中雙圓隧道之上浮風險已大幅減少，但 5cm 的上浮量仍不被軌道維護管理作業所接受，因此，本文分別由雙圓隧道下半圓外緣進行 0.25 倍隧道直徑（D）的圓形灌漿，以及下半圓外緣進行 0.5 倍隧道直徑（D）的方形灌漿（灌漿體完全填充雙圓隧道間），藉以評估半圓和半方形隧道外緣灌漿之抗浮效益，如圖 16 比較可知，半方形隧道外緣的改良效果明顯優於半圓形改良，二者

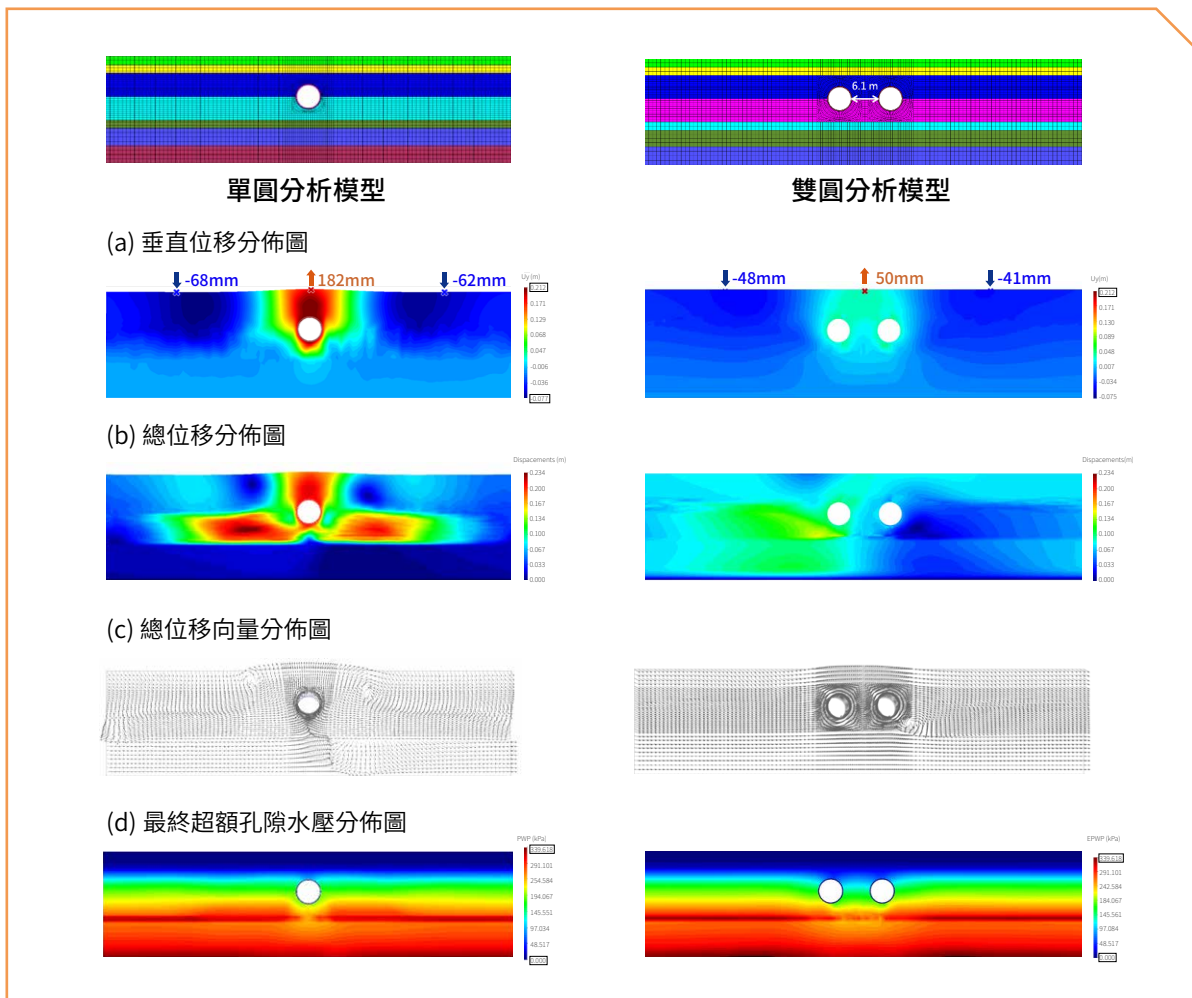


圖 15 液化土壤中單圓和雙圓潛盾隧道之上浮分析結果比較：(a) 垂直位移；(b) 總位移；(c) 總位移向量場；(d) 超額孔隙水壓力（最終時間）

主要差異除了形狀和改良量體的影響外，當兩隧道淨間距填充灌漿體時，雖無明顯抑制孔隙水壓力激發的直接貢獻（圖 16 (d)），但卻有效地改變了土壤變形行為。由圖 16 (a) ～ (c) 可以觀察兩隧道淨間距填充灌漿體時，獲得更好的抗上浮表現，故雙圓隧道灌漿時，除了改良形狀和量體之外，隧道淨間距填充灌漿體與否，仍為影響隧道上浮的關鍵因素。

柒、結論與建議

本文強調了液化土壤中淺覆土潛盾隧道的上浮和抗浮影響因素，由數值分析結果表

明，影響潛盾隧道上浮行為的因素包含有：現地土壤條件、地震外力作用以及隧道本身工程性質等。同時，當土壤液化防治工法限制由隧道內進行低壓灌漿時，則需考量到灌漿形狀、配置、量體及強度等因素對抗浮效益之影響，茲將相關結論整理如下：

一、由液化土壤中潛盾隧道上浮的影響分析可知，除了地質條件之外，作用地震力是土壤液化與隧道上浮的關鍵肇因，同時，當垂直加速度耦合於水平加速度時，將明顯增加潛盾隧道的上浮量，這個現象在設計時應有周延的考慮。

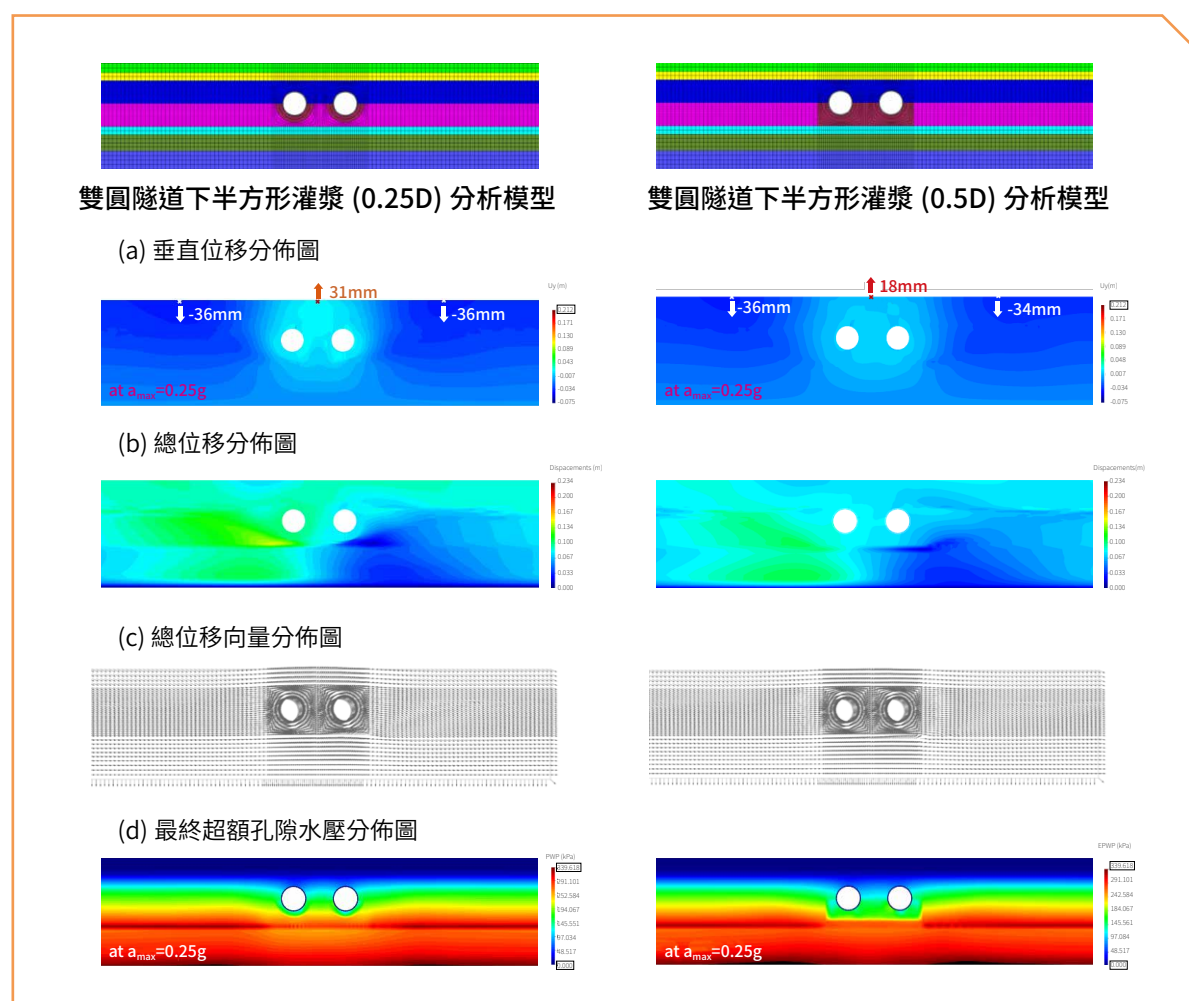


圖 16 液化土壤中雙圓潛盾隧道灌漿配置之抗上浮分析結果比較：(a) 垂直位移；(b) 總位移；(c) 總位移向量場；(d) 超額孔隙水壓力（最終時間）

二、液化土壤中潛盾隧道的埋置深度（或覆土厚度），是影響其上浮行為的顯著因子之一，埋置深的隧道擁有越多覆土承重足以抵抗趨動上浮的超額孔隙水壓力故上浮現象不明顯，反之，淺覆土隧道則有較高的上浮風險。

三、液化土壤中潛盾隧道抗浮灌漿成效取決於灌漿體的形狀、配置、量體與強度等，本文由影響參數分析結果可知灌漿形狀和配置是主要控制因素，其中，又以沿潛盾隧道腰拱外圍進行 0.5 倍隧道直徑的方形灌漿最具抗上浮效益。

四、土壤液化防治之灌漿體強度與量體是實務施工中是重要的成本考量，本文藉數值分析結果顯示灌漿體強度的改變對於抑制隧道上浮的效果可能不大，相較之下，灌漿量體的擴大則可更高效發揮隧道抗浮成效。

五、當考慮潛盾隧道為實際雙圓模式時，由數值分析結果可知在二隧道的互制作用下，將減小潛盾隧道周圍土壤的液化潛勢和上浮風險。同時，由數值分析證明當兩隧道淨間距填充灌漿體時，可以獲得更好的隧道抗上浮表現，顯示雙圓隧道灌漿時，除了灌漿形狀和配置之外，隧道淨間距填充灌漿體與否，乃為影響隧道抗浮表現的關鍵因素。

誌謝

本文作者感謝台灣世曦工程顧問股份有限公司委託研究計畫「淺覆土潛盾隧道之抗液化改良面積最佳化分析（編號:12928）」提供相關研究經費，以及感謝國家地震工程研究中心簡文郁 博士、劉勛仁 先生、張

志偉 先生、盧志杰 博士針對場址分析地震力歷時提供寶貴建議。

參考文獻

1. Boulanger, R. W., Kamai, R., & Ziotopoulou, K. (2014) . Liquefaction induced strength loss and deformation: simulation and design. Bulletin of Earthquake Engineering, 12 (3) , 1107-1128.
2. Chian, S. C., Tokimatsu, K., & Madabhushi, S. P. G. (2014) . Soil liquefaction-induced uplift of underground structures: physical and numerical modeling. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 140 (10) , 04014057.
3. Charlton, T., & Rouainia, M. (2016) . Probabilistic capacity analysis of suction caissons in spatially variable clay. Computers and Geotechnics, 80, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2016.06.001>.
4. Charlton, T. and Rouainia, M. (2017) . The Effect of the Spatial Variability of Clay Structure on Pipeline Uplift Capacity. Geo-Risk 2017: Impact of Spatial Variability, Probabilistic Site Characterization, and Geohazards, Denver, Colorado, 340-349.
5. Chen, R., Taiebat, M., Wang, R., & Zhang, J. (2018) . Effects of layered liquefiable deposits on the seismic response of an underground structure.

Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 113, 124-135. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.05.037>.

6.Chen, S., Tang, B., Hu, Z., Wang, J., Li, X., & Zhao, K. (2020) . Experimental investigation of the seismic response of shallow-buried subway station in liquefied soil. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 136, 106-153. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106153>.

7.Erdik, M. (2001) . Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes. World Scientific., 12 (2001) , 149-186, https://doi.org/10.1142/9789812811707_0018.

8.Elia, G., & Rouainia, M. (2016) . Investigating the cyclic behaviour of clays using a kinematic hardening soil model. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 88, 399-411. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2016.06.014>.

9.González, N., Rouainia, M., Arroyo, M., & Gens, A. (2012) . Analysis of tunnel excavation in London Clay incorporating soil structure. Geotechnique, 62 (12) , 1095-1109. <https://doi.org/10.1680/geot.11.p.030>.

10.Hu, J., Chen, Q., & Liu, H. (2018) . Relationship between earthquake-induced uplift of rectangular underground structures and the excess pore water pressure ratio in saturated sandy soils. Tunnelling

and Underground Space Technology, 79, 35-51. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.04.039>.

11.Ishihara, K., Yasuda, S., & Nagase, H. (1996) . Soil Characteristics and Ground Damage. Jiban KōGakkai Ronbun HōKokushū, 36 (Special) , 109-118.

12.Kaiser, A., Holden, C., Beavan, J., Beetham, D., Benites, R., Celentano, A., Collett, D., Cousins, J., Cubrinovski, M., Dellow, G., Denys, P., Fielding, E., Fry, B., Gerstenberger, M., Langridge, R., Massey, C., Motagh, M., Pondard, N., McVerry, G., Ristau, J., Stirling, M., Thomas, J., Uma, S.R., Zhao, J. (2012) . The Mw 6.2 Christchurch earthquake of February 2011: preliminary report. N. Z. J. Geol. Geophys., 55 (1) (2012) , 67-90, <https://doi.org/10.1080/00288306.2011.641182>.

13.Khosravifar, A., Elgamal, A., Lu, J., & Li, J. (2018) . A 3D model for earthquake-induced liquefaction triggering and post-liquefaction response. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 110, 43-52.

14.Lu, C. C., & Hwang, J. H. (2019) . Safety assessment for a shield tunnel in a liquefiable deposit using a practical dynamic effective stress analysis. Engineering Failure Analysis, 102, 369-383.

15. Park S.-S. and Byrne P. M., "Stress densification and its evaluation," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 41, no. 1, pp. 181-186, 2004, doi: 10.1139/t03-076.
16. Perez, J. S., Llamas, D. C. E., Dizon, M. P., Buhay, D. J. L., Legaspi, C. J. M., Lagunsad, K. D. B., ... & Pedrosa, M. G. G. (2023) . Impacts and causative fault of the 2022 magnitude (Mw) 7.0 Northwestern Luzon earthquake, Philippines. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1091595.
17. Reyes, A., Yang, M., Barrero, A. R., & Taiebat, M. (2021) . Numerical modeling of soil liquefaction and lateral spreading using the SANISAND-Sf model in the LEAP experiments. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143, 106613.
18. Sudevan, P. B., Boominathan, A., & Banerjee, S. (2020) . Numerical Study of Liquefaction-Induced uplift of Underground Structure. *International Journal of Geomechanics*, 20 (2) . [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0001578](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0001578).
19. Shen, Y., Zhong, Z., Li, L., Du, X., & Naggar, M. H. E. (2022) . Seismic response of shield tunnel structure embedded in soil deposit with liquefiable interlayer. *Computers and Geotechnics*, 152, 105015. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.105015>.
20. Shen, Y., Zhong, Z., Li, L., Du, X., & El Naggar, M. H. (2023) . Seismic response of soil-shield tunnel systems in sandwiched liquefiable soil deposits. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 140, 105322.
21. Tokimatsu, K., Tamura, S., Suzuki, H., & Katsumata, K. (2012) . Building damage associated with geotechnical problems in the 2011 Tohoku Pacific Earthquake. *Soils and Foundations*, 52 (5) , 956-974. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2012.11.014>.
22. Tasiopoulou, P., & Gerolymos, N. (2016) . Performance of multi-block gravity quay-wall subjected to strong earthquake motions: Numerical simulation of centrifuge test. In *Proceedings of Conference 1st International Conference on Natural Hazards & Infrastructure*.
23. Wang, Z., Gao, B., Jiang, Y., & Shen, Y. (2009) . Investigation and assessment on mountain tunnels and geotechnical damage after the Wenchuan earthquake. *Science China-technological Sciences*, 52 (2) , 546-558. <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0054-z>.
24. Wang, R., Zhang, J. M., & Wang, G. (2014) . A unified plasticity model for large post-liquefaction shear deformation of sand. *Computers and Geotechnics*, 59, 54-66.

25. Zhu, T., Hu, J., Zhang, Z., Zhang, J., & Wang, R. (2021a) . Centrifuge shaking table tests on precast Underground Structure-Superstructure system in liquefiable ground. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 147 (8) . [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0002549](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0002549).

26. Zhu, T., Wang, R., & Zhang, J. (2021b) . Evaluation of various seismic response analysis methods for underground structures in saturated sand. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 110, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103803>.

doi.org/10.1016/j.tust.2020.103803.

27. Zhuang H., Chen G., Hu Z., and Qi C., "Influence of soil liquefaction on the seismic response of a subway station in model tests," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 75, no. 3, pp. 1169-1182, 2016/08/01 2016, doi: 10.1007/s10064-015-0777-y.

28. 內政部營建署「建築物基礎構造設計規範」(2023)。

29. 交通部「鐵路橋梁耐震設計規範」。(2021)



兆元投資公共建設 新契機

關鍵詞 Keywords

兆元投資國家發展方案 Trillion NT Dollar Investment National Development Plan

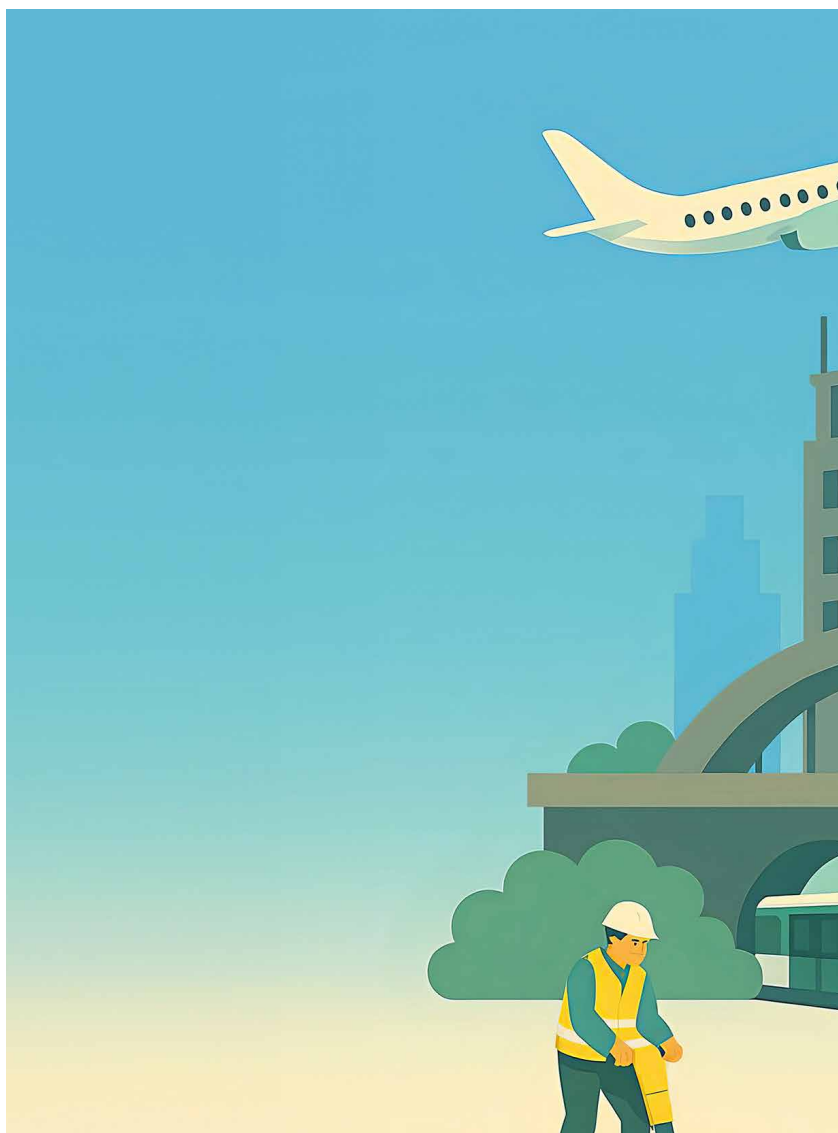
財政部
推動促參司

科長
陳子文

台灣世曦工程顧問股份有限公司
民間參與公共建設部

財經分析師
張宜榕

資深顧問
林偉崇



面對臺灣邁入超高齡社會與全球經濟動盪的挑戰，行政院於 2024 年核定「兆元投資國家發展方案（114–117 年）」，期望引導新臺幣（以下同）3 至 4 兆元壽險資金投入公共建設與策略性產業。本文探討我國民間參與公共建設的現況與挑戰，包括近十年民間投資占比偏低、中央部會推動民參力道可再加強，以及壽險業者參與意願受限於案源與法規限制等問題。

為促進資金活化與制度創新，兆元投資國家發展方案提出三大策略主軸：創新促參推進機制、優化投融资條件及增加金融商品多元性；並透過跨部會協調與利害關係人參與，提升案源吸引力，推動法規調適，建立穩定透明的政策環境，促進民間資金回流與在地投資。

兆元投資國家發展方案不僅是吸引壽險業資金投入的計畫，更是公共建設治理模式的轉型契機，希冀藉由政府與民間攜手合作，共創我國公共建設永續發展新局。



壹、前言

依國家發展委員會（下稱國發會）官網資訊，政府重大公共建設計畫年度預算先期作業，即為次年度預算編製程序。公共建設個案計畫奉行政院核定後，每年須由主辦機關編擬年度計畫經費並送主管機關審查；國發會再依行政院所定歲出概算額度，會同行政院主計總處、財政部及行政院公共工程委員會等有關機關共同審議。審議結果經會審程序通過後，提報國發會討論並陳報行政院，由行政院編定次年度預算案送立法院審查。預算經立法院三讀通過成為法定預算，各部會方能執行，中央和地方亦可據此推動相關公共建設。

惟據財政部統計，自 2013 年至 2024 年間，我國民間參與公共建設累計 2,378 件，投資金額達 2 兆 4,661 億元。其中保險業參與 37 件，投資金額 3,244 億元，占整體規模僅約 13.15%。

若從投資管道觀察，截至 2024 年 6 月底，保險業依《保險法》運用於「專案運用公共及社會福利事業」之投資（含不動產地上權、有價證券等）約 6,315 億元，僅占可運用資金 33 兆 1,050 億元的 1.91%，距離法定限額仍有相當空間。其中 62% 資金投資海外，主要因國外債券市場規模較大、商品多元，可滿足保險業長期保單的資產負債匹配需求。透過海外投資，保險業得以降低資金去化壓力，促成資產負債有效管理。

惟保險業海外投資部位近年受國際經濟及金融情勢變化影響，損益隨匯率大幅波

動，增加業者之避險成本。自 2022 年起，美國聯準會強力升息，加上 2025 年川普總統新政影響，臺美利差急速擴大，致使避險工具價格急劇上漲。因此，行政院於 2024 年 7 月 18 日召開第一次經濟發展委員會議，決議由國發會及相關部會提出「兆元投資國家發展方案（114－117 年）」（以下稱「兆元投資方案」或「該方案」），盼能引進 3 至 4 兆元壽險資金投注國內重大建設及重要產業，並以跨部會合作方式，設立法規調適單一窗口。

該方案規劃三大策略主軸：一是創新促參推進機制，二是優化投入公共建設及策略性產業之投融資條件，三是增加公共建設相關金融商品。透過此三管齊下，引導國內外資金投入國內產業發展與公共建設，為經濟發展挹注新活水。

貳、近年民間資金參與投資公共建設之課題

一、我國民間參與投資公共建設占公共建設預算規模比例低

參照圖 1 統計，2014 年至 2023 年間，我國每年公共建設預算（含年度總預算、前瞻基礎建設計畫及營業與非營業特種基金等公共建設計畫經費）介於 2,000 億元至 5,972 億元，平均約 3,948 億元。同期間，民間依《促進民間參與公共建設法》第三條所定，即屬於「公共使用且促進公共利益之建設及服務」的投資金額，則介於 271 億元至 2,828 億元，每年平均約 1,389 億元。

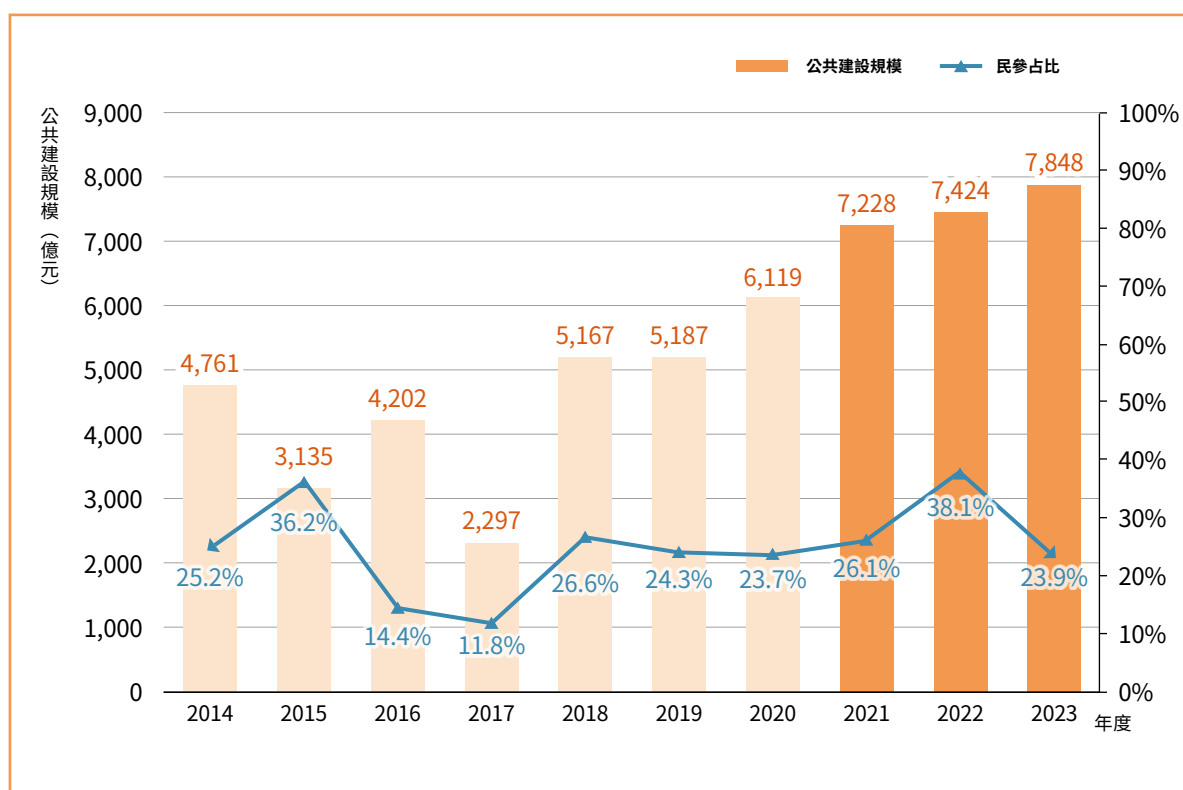


圖 1 近 10 年公共建設規模及民間參與投資占比情形

資料來源：中央政府重點部會推動民間參與公共建設目標金額規劃方案 [4]。

假設我國公共建設規模，可以每年公共建設預算及民間投資金額總和估計之，則近 10 年我國公共建設規模介於 2,297 億元至 7,848 億元之間，平均值約 5,337 億元，並可得知，民參金額占公共建設規模比率介於 11.8% 至 38.1%，平均值約 26%，顯示民參投資規模遠低於整體公共建設規模，故民間參與投資比例尚待提升。

二、中央部會辦理民參僅為地方政府約半能量

參照表 1，近 10 年民參投資金額中，中央部會辦理之民參投資金額合計約 4,964 億

元，地方政府辦理之民參投資金額合計約 8,926 億元，兩者占比約 36%:64%，顯示地方政府引進民間投資較中央部會更為積極。有鑑於大型公共建設多由中央各部會主政，故預期各部會仍有相當空間，可致力增加民間參與公共建設案件。

三、壽險業投資國內公共建設規模較投資海外資產規模低

國內壽險業擁有鉅額保險資金，惟國內固定收益債券市場之收益率、年期及胃納量相較國外明顯不足，使渠等面對利差及資金去化壓力，投資國內無法滿足壽險業長期保單所

表 1 近 10 年中央部會、地方政府之民參案件簽約金額占比一覽表

年度	民參案民投金額（億元）		民參金額簽約比率	
	中央部會	地方政府	中央部會	地方政府
2014	201	1,000	17%	83%
2015	580	555	51%	49%
2016	115	491	19%	81%
2017	54	218	20%	80%
2018	332	1,044	24%	76%
2019	391	869	31%	69%
2020	926	523	64%	36%
2021	698	1,190	37%	63%
2022	644	2,184	23%	77%
2023	1,023	853	55%	45%
10 年總計	4,964	8,926	36%	64%
	全國民參金額 1.39 兆		100%	

資料來源：2024 年 12 月 26 日財政部「兆元投資國家發展方案研習會」簡報

需之資產負債匹配需求，故轉而投資海外資產。至於壽險業在投資國內公共建設部分，普遍反映存在公共建設案源不足、缺乏公共建設相關金融商品，以及公共建設案件之投資評估專業能力有限等，導致目前其投入國內公共建設規模偏低。

四、壽險業資金青睞之公共建設案源類別

壽險業者過去投資我國民參案件比率偏低，原因除中央部會所推出供民間投資案源少外，主要亦是壽險業資金來自於普羅大眾，須保守考量案件收益性及合理報酬等始能投資，且壽險業投資範疇須受限於《保險法》規範。

壽險業為兆元投資國家發展方案之利害關係人，且為該方案目標引進投資國家公共建設之主要對象，依據金管會 2025 年 4 月彙整資料，壽險業者有興趣參與的民參案件（已公告或即將公告招商者）計有 11 件（如表 2），類型包含環境污染防治設施、交通建設、長照設施、捷運聯合開發案與都市更新案等，顯示壽險業者對於有興趣參與投資之公共建設類別，的確有其範疇或特殊性。

表 2 壽險業媒合情形一覽表

案件案名	主辦機關
高雄市 AI 智能高效焚化爐 BOT 案	高雄市政府
臺中市北區新興停車場 BOT 案	臺中市政府
秀山長照園區開發案 BOT	臺北市政府
捷運土城線頂埔站、北環段 Y21 及 Y23 站土地開發案（共 3 案）	臺北市政府
新莊北側知識產業園區轉運站 BOT 案	新北市政府
臺北市安東街、基隆光明街、高雄市自立路及臺中市復興路土地開發案（共 4 案）	交通部（臺鐵公司）

資料來源：金管會 /2025 年 4 月

參、兆元投資國家發展方案之規劃及主軸策略

兆元投資國家發展方案包括三大策略主軸：創新促參推進機制、優化投入公共建設之投融資條件、增加公共建設相關金融商品等（詳如圖 2）。該方案預期效益詳表 3 至表 5，希具體解決主要潛在投資者所反應之問題，舉如壽險業反應國內公共建設案源

不足、缺乏政府與民間雙向承諾、缺乏公共建設相關金融商品，並且將進一步引導民間資金投資國家建設，雙方攜手引導兆元資金投資臺灣、壯大臺灣，創造政府與民間雙贏。

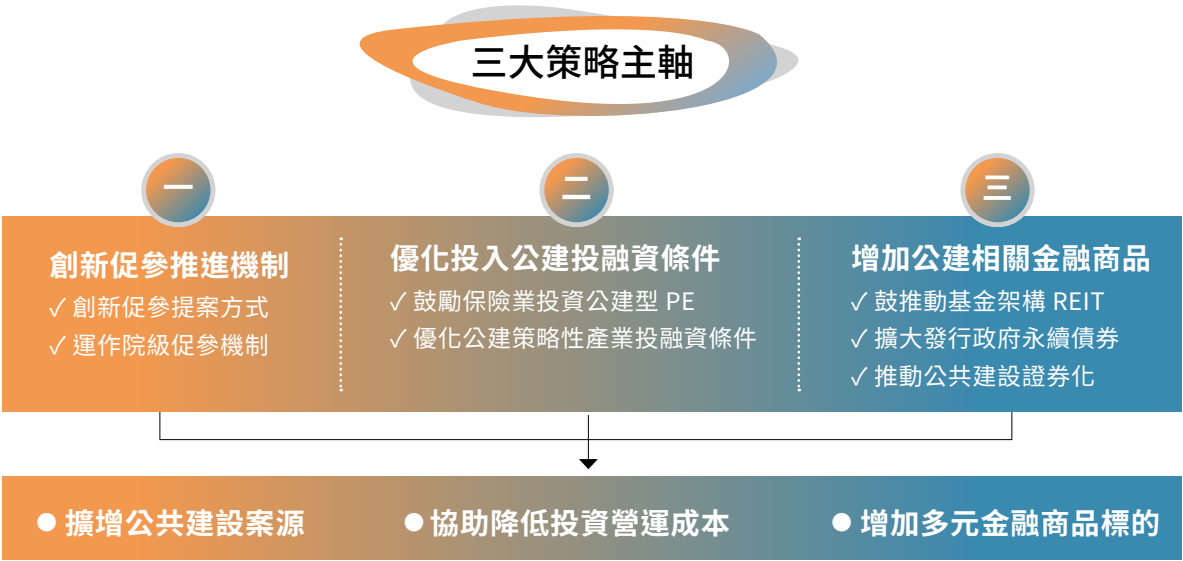


圖 2 「兆元投資國家發展方案」三大策略主軸

表 3 策略一創新促參推動機制預期效益

全期預期效益	分年預期效益			
	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年
全國民參金額 6,829 億元	1,498 億元	1,608 億元	1,775 億元	1,948 億元
創造就業機會 12.6 萬個	2.8 萬個	3 萬個	3.2 萬個	3.6 萬個
- 中央民參金額 2,636 億元	554 億元	611 億元	692 億元	779 億元
- 創造就業機會 4.8 萬個	1 萬個	1.1 萬個	1.3 萬個	1.4 萬個
收受促參提案 460 案件	100 件	110 件	120 件	130 件
調適法規鬆綁 40 件	10 件	10 件	10 件	10 件

表 4 策略二優化投入公共建設的投融資條件預期效益

全期預期效益	分年預期效益			
	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年
保險資金投資公建型 PE 累計 20 億元	累計規模 5 億元	累計規模 10 億元	累計規模 15 億元	累計規模 20 億元
推動國家融資保證 累計申請案件至少 15 案	累計申請 至少 12 案	累計申請 至少 13 案	累計申請 至少 14 案	累計申請 至少 15 案

表 5 策略三增加公建相關金融商品預期效益

全期預期效益	分年預期效益			
	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年
推動 REIT 基金累計 7 檔	-	累計 3 檔	累計 5 檔	累計 7 檔
鼓勵 REIT 基金 投資公共建設 規模累計 450 億元	-	累計 3 檔 規模 225 億元	累計 5 檔 規模 350 億元	累計 7 檔 規模 450 億元
保險資金投資連結公共建設 REIT 基金規模累計 45 億元	-	累計規模 22.5 億元	累計規模 35 億元	累計規模 45 億元
推動發行永續債 規模 5,100~6,100 億元	規模 1,000~1,300 億元	規模 1,200~1,500 億元	規模 1,400~1,600 億元	規模 1,500~1,700 億元
保險資金投資永續債 規模 510~610 億元	規模 100~130 億元	規模 120~150 億元	規模 140~160 億元	規模 150~170 億元

肆、創新促參推進機制之執行

一、中央重點部會促參投資目標值

根據圖 1 之統計，我國近 10 年之公共建設規模（含公共建設預算及民間投資金額）介於 2,297~7,848 億元，10 年平均值約 5,337 億元。故兆元投資國家發展方案以 5,350 億元作為 2025 年公共建設需求規模，逐年提升至 2028 年之 5,410 億元，平均每年

增加 20 億元。另，設定 2025 年民參占比為 28%，逐年提高至 2028 年 36%，平均每年增加 2.7%，以及 2025 年中央簽約占比 37%，逐年提高至 2028 年為 40%，平均每年增加 1%。進而依據各年公共建設規模、民參占比及中央簽約占比，可推算出中央民參金額目標值（2025－2028 年），如表 6 所示。

表 6 全國及中央民參金額目標值（2025－2028 年）估算一覽表

指標項目	年度	10 年平均 (億元)	分年預期效益				總計 (億元)
			2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	
公共建設需求規模 (A)		5,337	5,350	5,360	5,380	5,410	21,500
民參占比 (B)		26%	28%	30%	33%	36%	-
全國民參金額 (C)		1,389	1,498	1,608	1,775	1,948	6,829
中央簽約比 (D)		36%	37%	38%	39%	40%	-
中央民參金額 (E)		496	554	611	692	779	2,636

備註：分年目標值計算方式為 $(C) = (A) \times (B)$ 、 $(E) = (C) \times (D)$

參照表 7，依中央重點部會過去 10 年辦理民參案件經驗檢視，交通部民參金額約占 76% 為最高，經濟部 16% 次之，教育部 6%，其餘部會相對較低。基於各重點部會均有符合國家發展重點之公共建設項目（如綠能、水資源、產業發展、衛生福利、交通、文化教育、數位等），故兆元投資國家發展方案參考前開部會辦理經驗及業務屬性，先行設定重點部會分攤比率應至少

為 1%，內政部及農業部 4%，教育部維持 6%，經濟部 20%，所餘 60% 額度則由交通部分攤。

續依表 6 所列分年估算之中央民參金額，分別乘以表 7 之重點部會建議分攤比例，可得重點部會民參金額推動目標值（詳如表 8 所示）。

表 7 重點部會建議分攤比率一覽表

序號	機關名稱	近 10 年簽約民參案件		重點部會 建議分攤比率
		民參金額 (億)	百分比 (%)	
1	交通部	2,769	75.95%	60%
2	經濟部	597	16.37%	20%
3	教育部	219	6.01%	6%
4	農業部	42	1.15%	4%
5	內政部	3	0.08%	4%
6	衛生福利部	0.21	0.01%	1%
7	文化部	6	0.16%	1%
8	國軍退除役官兵輔導委員會	10	0.27%	1%
9	環境部	0	0%	1%
10	國家科學及技術委員會	0.06	0%	1%
11	數位發展部	0	0%	1%
總計		3,646	100%	100%

表 8 重點部會民參金額目標值 (2025-2028 年) 一覽表

機關 名稱	推動目標值 (億元)					可推辦案件類型
	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	4 年合計	
交通部	332	367	415	466	1,580	機場、鐵路場站、國道服務區、港埠用地、高鐵用地開發、停車場及風景特定區等。
經濟部	111	122	138	155	526	電業設施、綠能設施、海淡廠、自來水廠、物流中心、工業區及育成中心等。
教育部	33	38	41	46	158	學校、宿舍及大學附設醫院場館等文教設施。
農業部	21	24	28	32	105	漁港、農科園區、冷鏈物流、生質能中心及森林園區等農業設施。
內政部	21	24	28	32	105	社會住宅、污水下水道、再生水廠及國家公園等。
衛福部	6	6	7	8	27	長照機構、醫療機構及公共托育設施等。
文化部	6	6	7	8	27	美術館、博物館及文化園區等文教設施。
退輔會	6	6	7	8	27	榮民醫院、榮家及轄管農場等。
環境部	6	6	7	8	27	垃圾焚化廠、資源循環及生質能中心等環境污染防治設施。
國科會	6	6	7	8	27	科學園區及相關設施
數發部	6	6	7	8	27	數位軟硬體等數位建設
總計	554	611	692	779	2,636	

上開目標值設定結果，經 2024 年 9 月 10 日「研商兆元投資國家發展方案『創新促參推動機制』有關重點部會民間參與公共建設目標設定會議」決議，續納入兆元投資國家發展方案執行與管考。

二、促參推進專案辦公室之設置與執行

由於中央各部會之政府提案及民間廠商提案，需有一整合及聯繫之單位受理並進行篩選、分析及輔導，故兆元投資國家發展方案規劃設置促參推進專案辦公室（以下簡稱專辦）辦理前述作業，期藉由委託具公共建設、促參、財務、法規等專業之顧問機構或專業人士成立專辦，有效擴增促參案源、促進民間資金投入國家建設發展。

經財政部辦理採購評選，委託台灣世曦工程顧問股份有限公司自 2025 年 3 月 6 日起成立專辦，並提供相關專業服務。專辦於受理政府或民間提案後，就提案所涉工程、法律及財務等面向進行檢視分析，並研擬分析報告，續提交促參工作小組會議審議。

三、行政院促參推進專案會議審議機制之運作

參照圖 3，促參推進專案會議為行政院層級，下設促參工作小組與法規調適小組，節由跨部會協調溝通，協助解決促參推動遭遇課題。

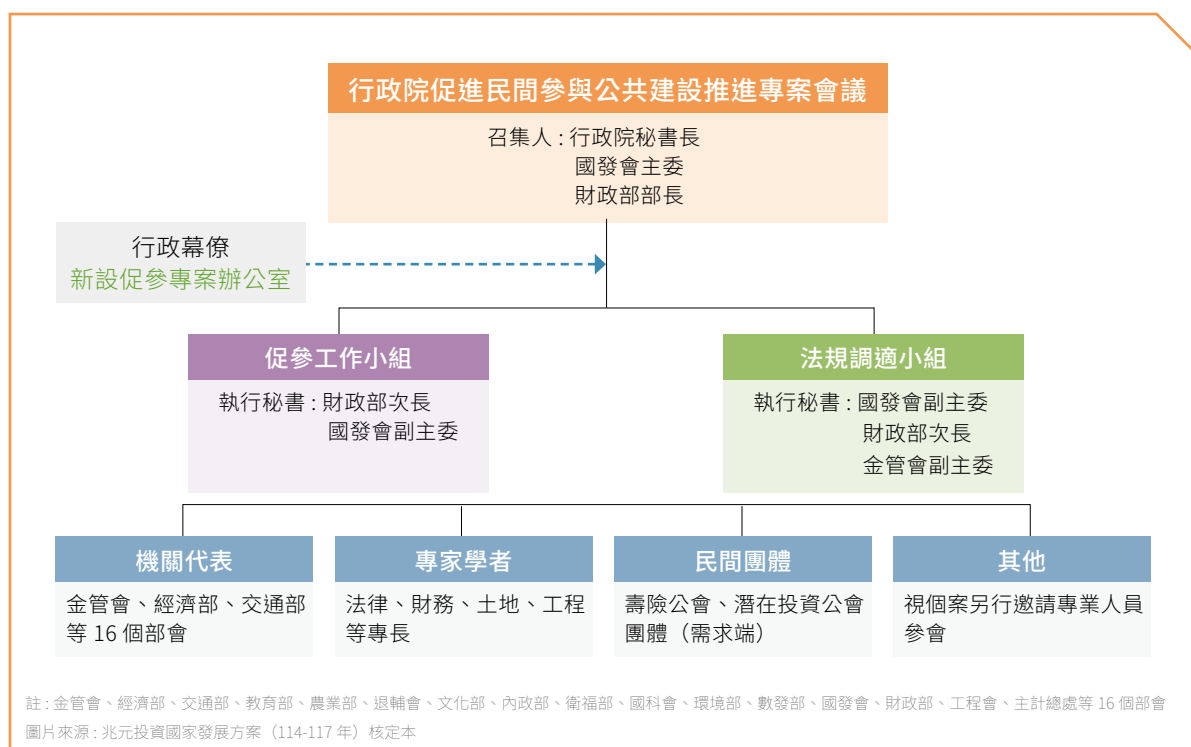


圖 3 行政院促參推進專案會議組織架構圖

（一）促參工作小組會議

促參工作小組會議屬於部級會議，由財政部次長、國發會副主任委員擔任召集人，會同小組成員召開會議審查相關提案資料，決議適合促參推動之提案。小組成員包括：金管會、經濟部、交通部、教育部、農業部、退輔會、文化部、內政部、衛福部、國科會、環境部、數發部、財政部、國發會、工程會、主計總處等 16 個部會之

司、局、處首長，以及視需要邀集專家學者及民間團體。

工作任務包括：建立促參提案平台、規劃促參審查機制、追蹤專案會議決議事項、研商民間參與公共建設相關課題等。相關辦理情況詳圖 4 所示。



2025 年 4 月 1 日第一次促參工作小組會議之辦理情況



2025 年 6 月 19 日第二次促參工作小組會議之辦理情況

圖 4 促參工作小組會議辦理情況

(二) 促參推進專案會議

由行政院秘書長、國發會主任委員、財政部部長擔任召集人，邀集金管會、經濟部、交通部、教育部、農業部、退輔會、文化部、內政部、衛福部、國科會、環境部、數發部、財政部、國發會、工程會、主計總處等 16 個部會或其指派之機關代表

召開促參推進專案會議，此屬院級會議，主要任務在於建立政府與民間共同提案機制，審議政府及民間提案促參案件，民間參與公共建設所涉法規調適，協調各級政府及民間業者參與公共建設相關課題等。相關辦理情況詳圖 5 所示。



2025 年 5 月 23 日辦理第二次行政院促參會議之相關辦理情況。

圖 5 促參推進專案會議辦理情況

四、執行現況及成果

依據國發會於 2025 年 5 月 23 日發布新聞，截至 2025 年 4 月底，兆元投資方案已促成逾 81 案，規模達 1,116.91 億元之民間參與金額，達成率逾 7 成。為強化政府推動促參成效，並扣合國家重大資源及社會政策方向，擇定再生水廠、本島大型之海水淡化廠，原則以促參方式推動。另針對青年社會住宅，促參專案辦公室將協調內政部、金管會等有關單位成立專案，以異業結盟及複合式商業模式，引進民間興辦青年社會住宅，擴大興建能量。

國發會表示，在優化民間參與公共建設效率與條件，以及推進法規鬆綁部分，已主動蒐集政府及民間提案，並完成法規調適及鬆綁共計 16 件，包括：擴大保險資金參與公共建設的範圍、保險資金投資公共建設型私募股權基金及國內創投事業之自有資本適足率風險係數調降至 1.28% 等。另外金管會亦主動函釋具公共建設屬性之策略性產業，舉如：電動車充電樁、節能服務產業或設施、儲能產業或設施、臺北港物流中心等，提高保險業投資相關產業適用投資限額至 45%，活化資金運用彈性。

在推動公共建設相關金融商品部分，已成功推動臺北市、高雄市及桃園市政府分別發行 100 億元、45 億元及 12 億元之永續發展政府債券；2025 年 1 月至 4 月底，整體市場發行永續發展債券規模已逾 650 億元。國發會指出，財政部、金融監督管理委員會、櫃檯買賣中心已建立三方聯繫機制，將持續追蹤發債可行案源，輔導各級政府發行永續發展債券。

伍、展望新契機

面對全球經濟動盪與臺灣邁入超高齡社會的挑戰，「兆元投資國家發展方案」不僅是吸引壽險資金投入國家公共建設之旗艦計畫，更是制度創新與資金活化的轉型契機。透過三大策略主軸——創新促參推進機制、優化投融资條件、增加金融商品多元性，政府正積極引導保險業等長期資金投入國家建設，期望形成民間與政府協力共創的良性循環。

本文建議未來可從以下幾個面向深化兆元投資國家發展方案之落實執行：

一、強化跨部會協調與利害關係人參與

促參目標案源應納入壽險業等主要投資者意見，透過行政院層級平台進行滾動式調整，提升政策靈活性與實效性。

二、提升案源品質與投資吸引力

針對壽險業者偏好之案型，如長照設施、環境污染防治、捷運聯合開發等，應加速規劃、降低投資風險，促進資金投入意願。

三、強化地方政府角色與資源整合

地方政府在民參推動上展現高度積極性，未來可透過中央資源支持與制度設計，進一步擴大地方政府促參案源與投資規模，進而促進區域均衡發展。

四、推動金融創新與法規調適

依兆元投資國家發展方案之策略二及策略三規劃，推動更多具吸引力的公共建設金

融商品，並設立法規調適單一窗口，簡化投資流程，提升民間參與意願與效率。

總體而言，「兆元投資國家發展方案」是公共建設思維與治理模式的轉型起點，後續仍仰賴政府與民間共同面對與處理促參案件推動窒礙課題、共同攜手合作，才能真正引導兆元資金壯大臺灣，創造永續發展的新局。

參考文獻

1. https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=D3775DAEF37D59C2&upn=C52BA5BE89EABC75#
2. 行政院第一次經濟發展委員會議決議新聞稿（2024.7.18）。
3. 行政院核定「兆元投資國家發展方案（114-117 年）」（2024.12.26）。
4. 中央政府重點部會推動民間參與公共建設目標金額規劃方案。
5. 行政院國發會「兆元投資國家發展方案」記者會新聞稿（2025.5.23）。

探討捷運設施 委託投資人興建機制

關鍵詞 Keywords

土地（聯合）開發 Land or Joint Development

公私協力 Public-Private Partnership

捷運設施工程 MRT Facility Engineering

台灣世曦工程顧問股份有限公司
民參部

工程師

呂怡萱

正工程師

陳頌智

副理

羅文貞



捷運系統為都市交通與公共運輸的重要基礎設施，其建設與推動不僅攸關大眾通勤效率，更能帶動都市發展。然而，捷運工程涉及龐大經費與長期回收，若僅依賴政府財源，容易造成財政壓力與進度延宕。因此，透過捷運聯合開發模式，引入民間投資、共享土地開發效益，已成為提升建設效率與財務可行性的主要途徑。

在實際操作上，捷運聯合開發仍存在挑戰：如何確保公共設施需求能在開發案中完整落實？如何平衡民間投資人收益與公共利益？以及在捷運設施規劃設計、施工整合與權責分工上，如何兼顧工程效益與制度透明，都是攸關推動成效的關鍵課題。

本文以捷運土地開發結合捷運設施委託投資興建之新北市土城樹林線捷運開發案及高雄市捷運黃線 Y15 站土地開發招商案之辦理過程，透過制度與案例探討，進一步提出具體改善建議，以強化公私協力機制，達成公共建設推動與都市發展的雙重效益。



壹、緒論

捷運土地開發（舊稱「聯合開發」），是政府為了興建捷運建設，除一般徵收外，另一種土地取得方式。由土地所有權人提供土地，供主管機關（按：指交通部、直轄市政府及縣市政府）興建捷運設施，並依程序徵求投資人（建商）出資興建土地開發大樓，使參與開發案之土地所有權人、投資人及主管機關共享開發利益，以促進都市土地有效利用、改善地區環境與景觀，並減少捷運用地地主損失。透過土地開發，可誘導民間資金投入都市建設，經由公、私部門合作關係，積極有效地投資都會建設（詳圖 1）。

由於土地開發涉及捷運設施公共工程與土開大樓建物之互相共構銜接，開發過程中常衍生土地產權、結構體共構與使用動線衝突等議題。如能配合捷運建設興建時程，將坐落於基地內之共構或分構之捷運

附屬出入口、通風口或其他附屬設施等，交由投資人興建，除能避免後續捷運附屬設施因興建土開大樓而移設或調整，更能將捷運附屬設施整合於土開大樓，創造便捷生活機能空間。

台灣世曦工程顧問股份有限公司近年接受新北市政府捷運工程局、高雄市政府捷運工程局委託，擔任土地開發招商顧問，即各地方政府在進行捷運系統建設規劃設計之初，積極導入民間資源參與建設辦理土地開發招商，並透過結合「捷運設施委託投資人興建」機制，實踐「同步建設、同步開發」之新模式。爰此，本文以捷運土地開發結合捷運設施委託投資興建之新北市土城樹林線捷運開發案、高雄市捷運黃線土地開發招商案之辦理過程，就此機制進行經驗討論分享。

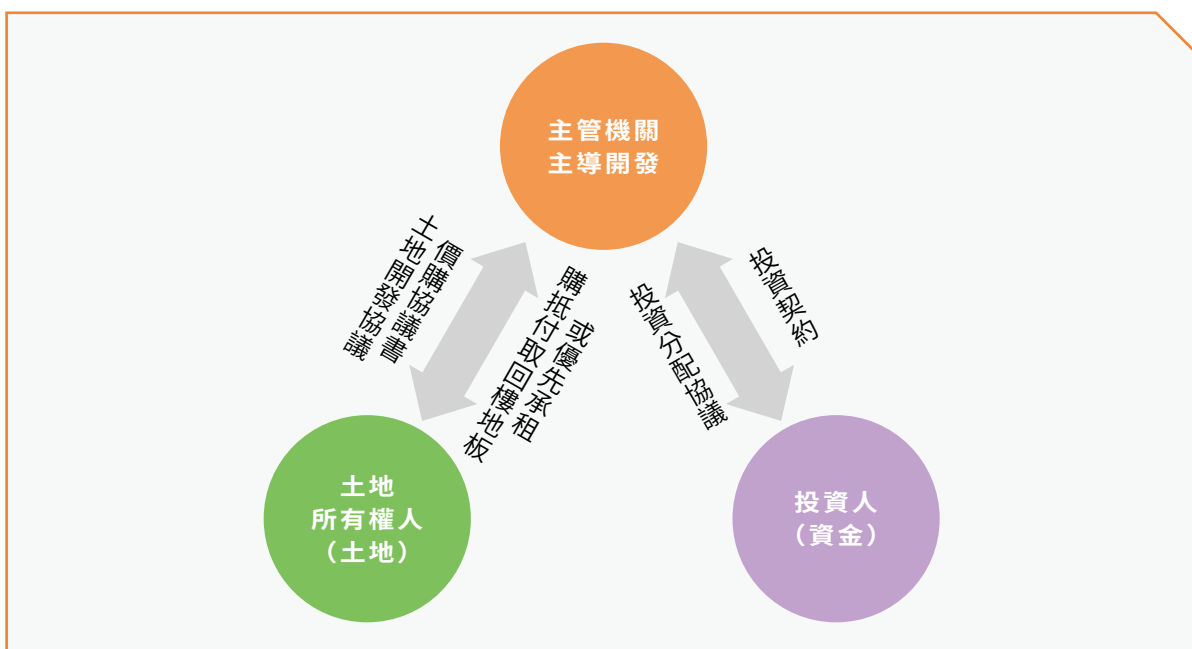


圖 1 土地(聯合)開發三方關係圖
資料來源：新北市捷運局

貳、捷運土地開發結合捷運設施 委託投資興建招商推動經驗

一、新北市土城樹林線捷運開發案

(一) 新北市土城樹林線簡介

捷運「萬大－中和－樹林線」（簡稱萬大線）全線規劃自捷運中正紀念堂站起，向西經臺北市中正區、新北市中和區及樹林區沿線廊帶後，與捷運中和新蘆線迴龍站相接。路線總長度約 22.8 公里（含機場支線），全線採地下及高架型式興建，共設置 22 座車站（11 座地下車站、11 座高架車站）及 1 座機廠，並採中運量全自動無人駕駛捷運系統設計。

萬大線有助於帶動沿線地區發展，行政院於 2010 年 2 月 12 日核定全線，分 2 期開發，2014 年 9 月 23 日核定第一期修正財務計畫，2018 年 10 月 17 日核定第二期財務計畫。萬大線跨經臺北市與新北市兩個行政區，考量營運調度需求，乃以萬大線機廠位置為分期興建之分段點，其中，新北市政府擔任地方主管機關之路線，即以「萬大－中和－樹林線」第二期工程為主。

1. 第一期路段

「萬大－中和－樹林線」第一期工程，為新北市捷運萬大中和線，路線自中正紀念堂站（臺北市）起，向西沿南海路下方延伸至新北市土城區金城路，並於金城路北側農業區設置機廠，及設一支線車站鄰莒光路，全長約 9.5 公里（含機廠支線約 700 公尺），總開發經費約 741.78 億元，共設置 9 座地下車站及 1 座機廠；新北市段共 5.7 公里，設有 LG05、LG06、LG07、LG08 及 LG08A 共 5 座地下車站及 1 座機

廠，萬大線第一期工程完工營運後，預估每日運量可達 24.7 萬人次。

萬大中和線目前施工進度約 80.52%，未來將由臺北市府擔任地方主管機關，並由臺北市捷運局負責全線之規劃、設計與興建，再交由臺北捷運公司營運。

2. 第二期路段

「萬大－中和－樹林線」第二期工程，即新北市捷運土城樹林線，路線銜接第一期中中和段及臺北市區段，沿土城、樹林地區延伸至迴龍站，全長約 13.30 公里，總開發經費約 555.3 億元，共設置 13 座車站（2 座地下車站與 11 座高架車站），是新北市捷運網絡中的重要路段，串聯捷運板南線、中和新蘆線及環狀線，連接雙北市核心區域，對於整合大臺北都會區的交通網絡具有策略性意義。

土城樹林線目前進度約 40.93%，原由臺北市府擔任主管機關，現已於 2025 年 4 月 10 日辦理移交予新北市政府。未來將由新北市政府擔任地方主管機關，並由新北市捷運局負責全線之規劃、設計與興建，再交由新北捷運公司營運。土建及機電標辦理說明如下（詳圖 2，表 1）：

(1) 土建施工區段標

a. CQ880 區段標

拆分為 CQ880A 標及 CQ880B 標。

(a) CQ880A 標（土城地下段）

已於 2023 年 12 月 1 日決標並於 2024 年 3 月開工，得標廠商為遠揚營造股份有限公司及日商岩田地崎營造股份有限公司台灣

分公司共同承攬，決標金額 115 億餘元，工程內容包含土建、水電環控及電梯電扶梯工程。

(b) CQ880B 標（土城高架段）

工程內容包含土建及水電環控工程，第 4 次公告招標 2025 年 6 月 25 日於政府採購網公告，預算金額約 147 億餘元，將於 2025 年 8 月 5 日開標。

b. CQ890 標（樹林段）

已於 2022 年決標並開工，決標金額 180 億餘元，工程內容包含土建及水電環控工程。

(2) 機電系統標

已於 2020 年 7 月 23 日簽約，決標金額 149 億元，2020 年開工。



圖 2 新北市土城樹林線區段標工程、捷運開發基地位置示意圖
資料來源：本研究繪製

表 1 土城樹林線施工情形

臺北都會區大眾捷運系統萬大—中和—樹林線（第二期工程）CQ880A 區段標工程	
決標日期	2023.12.01
契約金額	11,597,832,043 元
專案管理顧問（含基本設計）	台灣世曦工程顧問股份有限公司
細部設計	中興工程顧問股份有限公司
監造單位	中興工程顧問股份有限公司 / 林同棧工程顧問股份有限公司
統包設計 施工單位	遠揚營造工程股份有限公司 日商岩田地崎營造股份有限公司台灣分公司
開工日期	2024.03.01
預估完工日期	計畫調整中
臺北都會區大眾捷運系統萬大—中和—樹林線（第二期工程）CQ890 區段標工程	
決標日期	2022.08.17
契約金額	18,000,358,242 元
專案管理顧問（含基本設計）	台灣世曦工程顧問股份有限公司
細部設計	中興工程顧問股份有限公司 / 林同棧工程顧問股份有限公司
監造單位	中興工程顧問股份有限公司 / 林同棧工程顧問股份有限公司
統包設計 施工單位	遠揚營造工程股份有限公司
開工日期	2022.11.11
預估完工日期	計畫調整中

資料來源：新北市政府捷運工程局官網

（二）招商推動說明

為活化捷運建設沿線土地資源並提升整體財務效益，新北市政府捷運工程局同步推動土城樹林線捷運站周邊之聯合開發計畫，並委由得盈開發有限公司、展碁不動產估價師聯合事務所辦理該路段地籍整理、用地取得與招商顧問專業服務案，其中，招商作業委由台灣世曦工程顧問股份有限公司辦理，該線共規劃 6 站 9 處捷運

開發案，截至目前已有 3 案完成簽約，分別為 LG17 站出入口 A（已於 2025 年 2 月簽約）、LG16 出入口 A 及 LG16 出入口 B 兩案（已於 2025 年 7 月簽約）；而刻正辦理招商中之捷運開發案有三案，分別為 LG15 站出入口 B、LG19 出入口 A 及 LG19 出入口 B 等（皆已於 2025 年 4 月公告，詳表 2）。

表 2 土城樹林線捷運開發案基本資料及辦理情形

開發基地	出口	面積 (m ²)	建蔽率、容積率	座落位置	辦理情形
LG09	A	16,860	80%、900%	新北市土城區金城路三段與延和路交叉口附近	辦理都市計畫變更作業
	B	3,292	80%、900%	新北市土城區金城路三段與延和路交叉口附近	辦理都市計畫變更作業
LG13	A	1,340	80%、708%	新北市土城區中華路案段與慶利街交叉口附近	辦理都市計畫變更作業
LG15	B	2,090	80%、780%	新北市樹林區八德街西側與中華路交叉口附近	已於 2025 年 4 月 30 日公告徵求投資人，截止收件時間為 2025 年 9 月 15 日
LG16	A	1,541	80%、780%	新北市樹林區八德街與大安路交叉口附近	2025 年 7 月 21 日與信義開發股份有限公司簽訂投資契約書
	B	1,906	80%、780%	新北市樹林區八德街與大安路交叉口附近	2025 年 7 月 21 日與信義開發股份有限公司簽訂投資契約書
LG17	A	1,307	80%、780%	新北市樹林區大安路、大安路 249 巷、樹德街 36 巷及十二股圳所圍街廓	2025 年 2 月 8 日與信義開發股份有限公司簽訂投資契約書
LG19	A	2,120	80%、600%	新北市樹林區中正路與三多路口附近	2025 年 4 月 30 日公告徵求投資人，截止收件時間為 2025 年 9 月 15 日
	B	2,874	80%、600%	新北市樹林區中正路與三多路口附近	2025 年 4 月 30 日公告徵求投資人，截止收件時間為 2025 年 9 月 15 日

資料來源：本研究整理

新北市土城樹林線 LG17 站出入口 A 捷運開發案（詳圖 3），為土城樹林線首站招商成功之捷運開發大樓，於 2025 年 2 月與信義開發簽訂投資契約，引入投資金額約為新臺幣 16 億元，規劃地上 29 層、地下 5 層之開發大樓，樓地板面積約 6,300 坪，未來將導入約 146 戶住宅單位，預計於 2026 年 6 月取得建照（詳表 3）。

土城樹林線 LG16 站出入口 A 及出入口 B（詳圖 4），2 處捷運開發案於 2025 年 7 月與信義開發簽訂投資契約，引入投資金額約為新臺幣 45 億元，規劃興建兩棟地上 27 層、地下 5 層之開發大樓，樓地板面積分別約 6,900 坪及 8,300 坪，總計達 15,200 坪，未來兩基地合計將導入約 470 戶住宅單位，預計於 2026 年 10 月取得建造。

表 3 新北市土城樹林線捷運開發招商已簽約案件之開發時程

開發基地	開發時間點	預計開發時程
LG17A	簽約	2025.2.8
	取得建照（含規劃設計期、都審、建照申請）	2026.6.30
	開工	2027.1.1
	完成捷運設施興建與移交	（預計 2029.2）
	竣工	2031.12.31
	取得使用執照	2032.6.30
	產登、申請水電、交屋	2032.12.31
LG16A LG16B （兩案）	簽約	2025.7.2
	取得建照（含規劃設計期、都審、建照申請）	2026.10.31
	開工	2027.5.1
	完成捷運設施興建與移交	（預計 2029.6）
	竣工	2032.5.31
	取得使用執照	2032.8.31
	產登、申請水電、交屋	2033.2.28

資料來源：本研究整理



圖 3 新北市土城樹林線 LG17 站出入口 A 捷運開發大樓模擬圖

資料來源：新北市政府捷運工程局



圖 4 新北市土城樹林線 LG16 站出入口 A 及出入口 B 捷運開發大樓模擬
資料來源：新北市政府捷運工程局

二、高雄市捷運黃線土地開發招商案

(一) 高雄市捷運黃線簡介

高雄捷運系統四線齊發完工後，高雄捷運路網將從現有的紅橘線 38 個車站，加上輕軌 38 個車站，再合計岡山路竹、小港林園、黃線成網後 38 個車站，車站數達 114 站，捷運總長度逾百公里，將躋身捷運城市。

捷運黃線總長約 22.91 公里，設置 23 座車站，可與捷運紅線、橘線、環狀輕軌及臺

鐵各增加 2 處軌道轉乘站點，合計軌道運輸轉乘點共達 19 處，捷運路網詳圖 5。

高雄捷運黃線於 2023 年 12 月舉行土建及軌道工程聯合動土典禮，YT01 標軌道工程統包工程於 2023 年 3 月決標；YC01、YC02、YC03 標土建及設施機電統包工程於 2023 年至 2024 年陸續決標。此外，與 Y15 聯開案高度相關的 YD01 標土建及設施機電細部設計案已於 2024 年 11 月簽約，開始進行細部設計作業。



圖 5 高雄市捷運路網示意圖

資料來源：本研究繪製

(二) 招商推動說明

高雄市捷運黃線 Y15 站土地開發案於 2023 年 8 月辦理徵求投資人公告，續由鴻海精密工業股份有限公司取得最優申請人，並於 2025 年 9 月 8 日完成簽約，辦理期程詳表 4。

表 4 高雄市捷運黃線 Y15 站土地開發案辦理期程表

項目	辦理時間
開發案公告	2022 年 11 月 11 日
徵求投資人公告	2023 年 8 月 14 日
亞灣 2.0 截止受理申請	2023 年 12 月 6 日 (獎勵企業總部進駐亞洲新灣區作業要點)
截止受理投資申請	2024 年 8 月 8 日
投資申請案審查	2024 年 9 月 30 日
開發建議書評選	2024 年 11 月 19 日 公告鴻海精密工業股份有限公司獲選最優申請人
簽訂契約	2025 年 9 月 8 日

資料來源：高雄市政府捷運工程局

本開發基地緊鄰捷運 Y15 站、輕軌 C8、C9 站，未來將以立體連通方式與海洋國門—高雄港旅運中心串聯，可為國際旅客、市民打造出入境本國之重要轉乘基地，並在「亞灣 2.0—智慧科技創新園區推動方案」政策指導下，可提供 5G AIoT 產業進駐設置總部或研發基地。黃線 Y15 站開發用地

面積 3,433 坪，使用分區為特定經貿核心專用區（二）土地，建蔽率 60%；容積率 630%。區位條件優異，配合政策適宜規劃企業營運總部、商辦、商場等設施，預估將引進民間投資超過 150 億元，土地開發大樓詳圖 6。



圖 6 高雄市捷運黃線 Y15 站開發大樓模擬圖
資料來源：高雄市政府捷運工程局、潘冀聯合建築師事務所



參、捷運設施委託投資人辦理興建機制探討

在捷運車站興建期間，導入投資人參與捷運開發案之規劃與施工，亦即於興建開發大樓同時，配合完成捷運設施、共構結構體及捷運設施所需預埋管線等土木建築細部設計與施工，使捷運開發大樓與捷運設施得以同步完工啟用，有效縮短整體開發期程，提升整體效益，實現公共建設與都市開發同步推動之目標。

依據《大眾捷運系統土地開發辦法》第 8 條規定：「開發用地內之捷運設施屬出入口、通風口或其他相關附屬設施等，經主管機關核准得交由投資人興建，其建造成本由主管機關支付。」故於捷運開發案甄選文件中，投資人須知及契約內容均會約定基地內捷運設施（含出入口、通風井及其他相關附屬設施）之興建事宜，詳如表 5、圖 7。

表 5 新北市土城樹林線 LG17 站出入口 A 捷運開發案開發內容概要表

基地面積	1,306.72 m ²	
設計建築面積	888.41 m ²	
設計建蔽率	67.99%	
樓地板面積	捷運設施	1,820.32 m ²
	土開部分	17,318.42 m ²
各層用途	地下 2~5 層	土開停車空間、機房
	地下 1 層	土開防空避難室兼停車空間、機房
	地上 1 層	出入口 A 通道、電氣管道、垃圾室、日用水箱室、店舖
	地上 2 層	出入口 A 通道、站務空間
	地上 3 層	出入口 A 通道、PAO、驗票閘門、公共服務空間
	地上 4 ~ 28 層	集合住宅 (H-2)

資料來源：新北樹林線捷運開發案 LG16 站、LG17 站招商說明會簡報

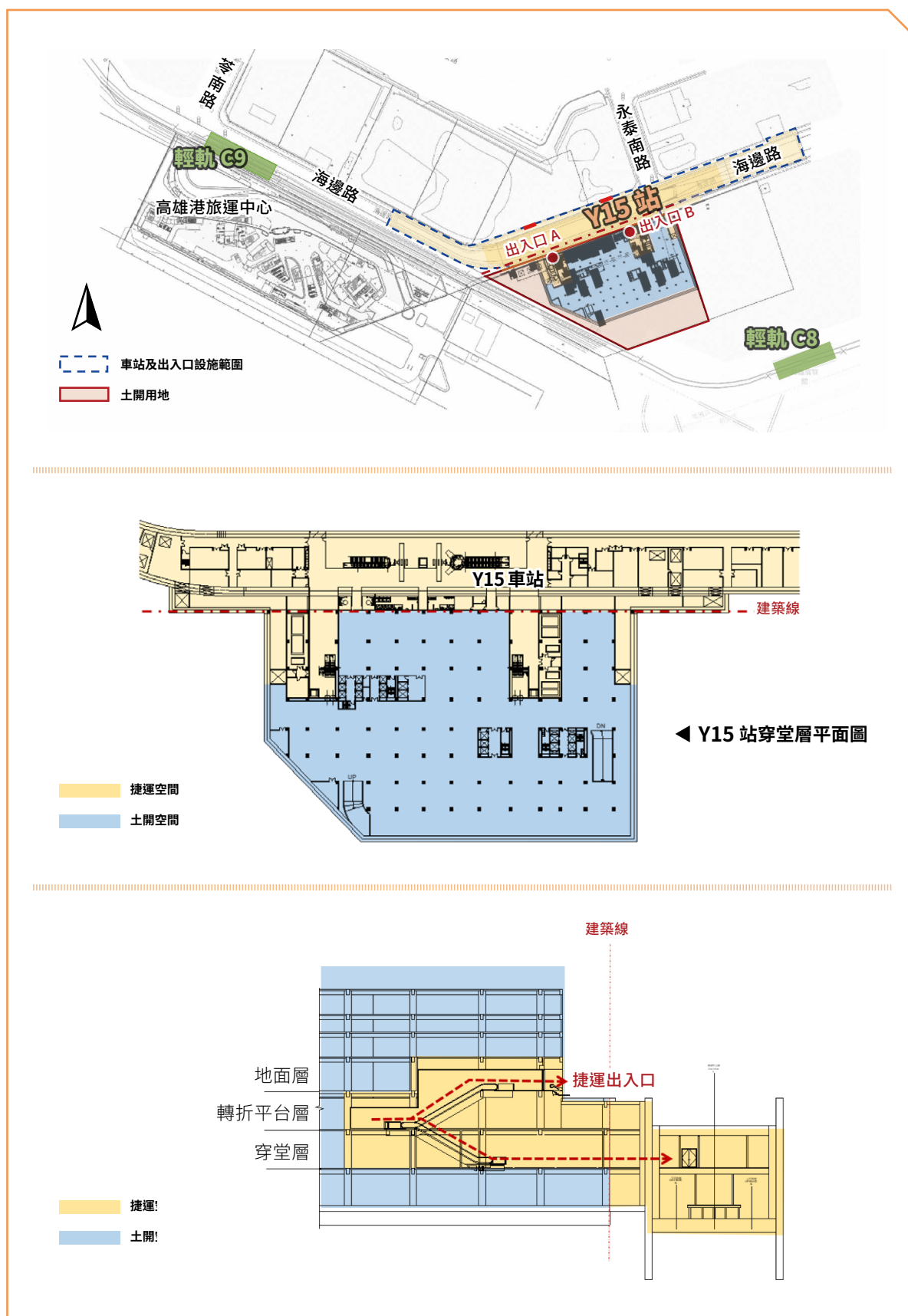


圖 7 高雄市捷運黃線 Y15 站捷運共構 - 委託投資人興建範圍示意圖
資料來源：「黃線 Y15 案」招商說明會簡報

目前各地方政府之有關徵選土地開發投資人甄選文件、捷運設施委託設計及施工契約，主要參考臺北市政府「臺北市政府甄選臺北都會區大眾捷運系統○線○站○用地土地開發案參考文件（範本）」、「臺北都會區大眾捷運系統○線○站○用地土地開發投資契約書（範本）」、「捷運設施委託投資人興建契約」範本訂定，相關文件內容條文結構、內容規定相近。以下就捷運設施工程預計办理流程、委託投資人興建之相關規範進行說明：

一、捷運設施工程預計办理流程

依捷運開發案甄選文件中投資人須知規定，投資人需於開發建議書中提出捷運系統相關設施銜接計畫，以及依《捷運設施委託投資人興建契約》（以下簡稱「委建契約」）規定，提出土地開發用地內與土

地開發建物共構部分捷運設施之設計與施工構想，並附上捷運設施設計及施工計畫書（含工程預算書總價表及明細表）。在投資契約書簽訂後，開發用地內之委託興建部分，投資人應依據執行機關核定之土地開發計畫、預算書及建造成本等資料，於執行機關或其指定單位書面通知到達日起30日內，完成委託興建契約書之簽訂。

委託興建契約必須配合捷運路線計畫之通車營運需求，依約定服務期限規定完成捷運設施結構體並提供予甲方使用。完工期限則以配合土地開發大樓整體興建時程，並辦理驗收及移交完成為準，即依土地開發大樓取得建築管理機關核發使用執照日期為捷運設施工程之竣工日，相關工作流程詳圖8。

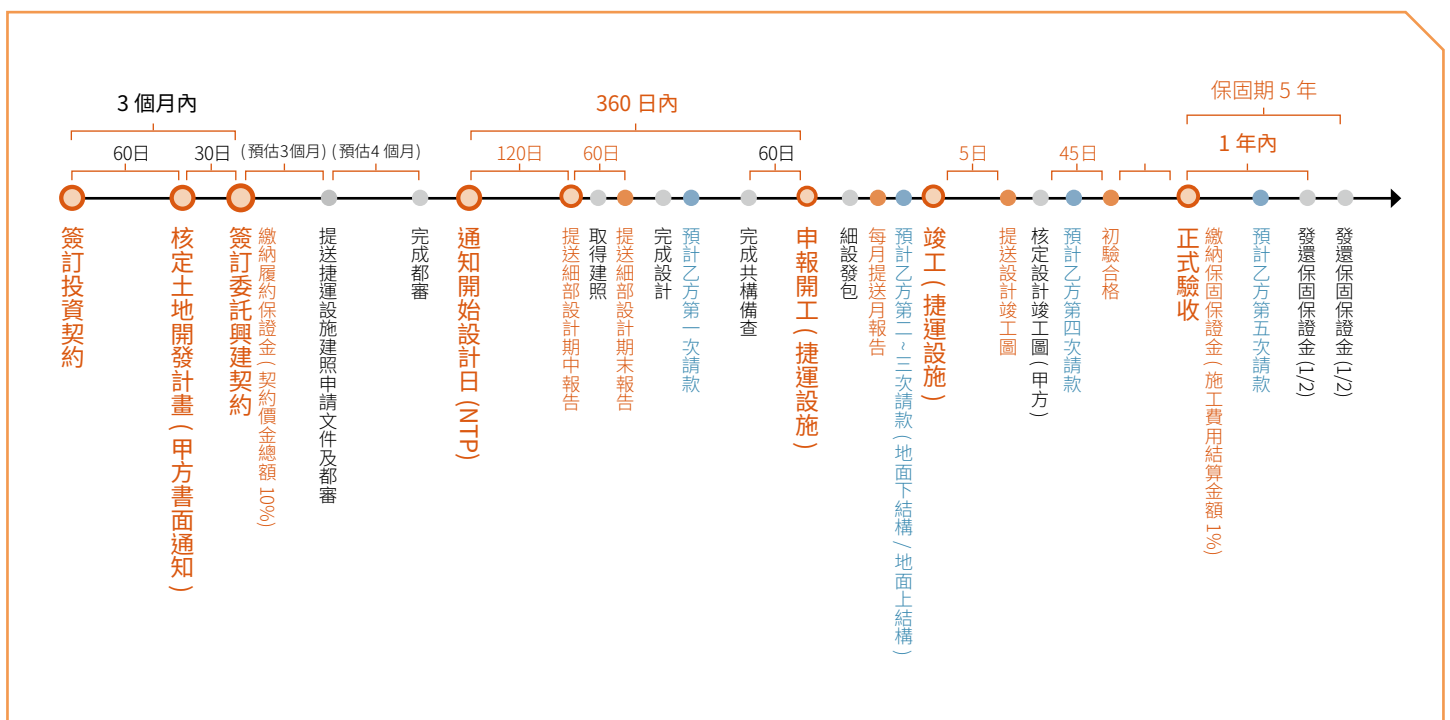


圖8 新北市樹林線 LG16 站 A、B 及 LG17 站 A 捷運設施委建工作流程示意圖

資料來源：本研究繪製

二、捷運設施委託投資人興建之相關規範

委建契約係為辦理捷運系統土地開發基地內與土地開發大樓共構部分捷運設施（出入口、通風井及其他相關附屬設施）之土木建築細部設計（含監造，以下略）與施工。乙方應提供有關設計與施工之專業技術及其他服務，包括人力、物料、供應品、設備、運輸和管理，俾圓滿達成本工程契約案中所規定之各項工作，另須依行政院公共工程委員頒布之《公共工程專業技師簽證規則》，辦理相關技師簽證事宜。

委建契約書目錄主要內容如下，委建主要相關規範整理如表 6、表 7。

第一條 契約及契約文件

第二條 工作範圍

第三條 完工期限

第四條 契約價金總額及付款辦法

第五條 契約構成

第六條 契約通則、責任、罰責及變更

第七條 契約生效日期及契約存執

第八條 通知

表 6 甄選文件中有關委建相關規定以新北市土城樹林線 LG17 站為例

工作項目	規範內容
一、投資人須知	
簽訂投資契約	最優申請人由執行機關通知申請人依審定條件於書面通知到達日起 30 日內簽訂投資契約書，...
提送建築師資格文件	投資人應自簽訂投資契約之日起三十日內將建築師之資格證明文件提送執行機關審查。...
提送土地開發計畫	投資契約書簽訂後 60 日內，投資人應依審定條件及評選會議審查意見修正開發建議書，經執行機關核定為土地開發計畫，納入投資契約書附件，作為本開發執行之依據。...
簽訂委託興建契約	投資人應依據執行機關核定之土地開發計畫、預算書及建造成本等資料，於執行機關或其指定單位書面通知到達日起 30 日內完成委託興建契約書之簽訂 ...
申報開工：與捷運開發建物共構之捷運設施空間	投資人申報開工期限：須經新北市政府工務局共構備查後 60 日曆天內申報開工。
二、投資契約	
建置專屬網站	乙方應於簽約後 3 個月內，建置專屬網站，定期公開開發內容及作業進度
申報開工：捷運開發建物	乙方應於領得建造執照後 6 個月內向建築主管機關申報開工...
第九條 施工	
施工品質及功能	（一）為確保執行本開發案能達本契約要求之品質及功能，甲方得委由專業營建管理機構，依本契約第十五條（一）執行本開發案施工督導及履約管理等工作，乙方應配合辦理。

施工督導及履約管理	為確保執行本開發案能達本契約要求之品質及功能，甲方得委由專業營建管理機構，依本契約第十五條（一）執行本開發案施工督導及履約管理等工作，乙方應配合辦理。
本開發建物之設計、監造並提送監造計畫	<p>乙方委託之建築師負責本開發建物之設計、監造並提送監造計畫及辦理下列事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 工程材料品質鑑定及各項檢驗、試驗報告之審查。 2. 工程進度之監督控制。 3. 保固期間內有關保固作業之督導、會同保固責任之鑑定及保固期滿參與會勘等。 4. 本開發建物設計工作開始後至施工完成前，負責各項工程廠商之協調配合以及定期舉行工地協調會。

表 7 委建契約相關規範以新北市土城樹林線 LG17 站為例

工作項目	規範內容
履約保證金	乙方應於簽訂本契約之同時繳交以契約價金總額 10% 計算之履約保證金計新臺幣〇仟〇佰〇拾〇萬〇仟〇佰〇拾〇元，得以下列一種以上型式繳納。
提送細部設計期中報告	細部設計期中階段送件日期：通知開始設計日（NTP）起第 120 日曆天。
提送細部設計期中報告	細部設計期中階段送件日期：通知開始設計日（NTP）起第 180 日曆天。
辦理開工	本委託工程須於（NTP）起第 360 日曆天前辦理開工。
提送竣工圖	乙方應依工程司指示，按變更契約程序，修正更新設計圖直至工程完工為止，此套設計竣工圖將為竣工資料之一部分，應在工程提報竣工後 5 天內送交完畢。
初驗	除含有機電設備之工程契約另有約定或有特殊情形外，工程司於收到乙方之竣工報告表、竣工圖表、工程結算資料及契約約定之其他資料（上述資料應完整提送）經審核後，應於 45 天內辦理初驗，並作成初驗紀錄。
驗收	工程經初驗合格後於 45 天內，工程司應報請業主、政府有關單位會同辦理驗收，並通知乙方參加，作成驗收紀錄。
品質計畫	依行政院公共工程委員會對於公共工程訂頒之品質計畫製作綱要辦理，並視工程規模及性質調整，經甲方同意後採行。
監造計畫	依行政院公共工程委員會對於公共工程訂頒之監造計畫製作綱要辦理，並視工程規模及性質調整，經甲方同意後採行，本契約一級品管為施工廠商自主管理，二級為監造建築師或顧問公司，三級為甲方及捷運局。
繳納保固保證金	乙方應於本工程驗收合格後，繳交保固保證金，甲方將於結付尾款時一併發還保留款。但初驗合格且無逾期情形者，乙方得書面要求甲方先行發還百分之五十之保留款。
發還保固保證金	<p>保固保證金依施工費用結算金額之百分之一計算。</p> <p>保固保證金由工程款或乙方得領回之相當額度履約保證金優先扣繳，或另由乙方比照履約保證金繳交方式辦理。</p> <p>保固保證金未經動用部分，於保固期滿後且無瑕疵待改善情事時發還之。</p> <p>除另有約定外，甲方應於保固期間滿一年後發還未經動用部分之二分之一，其餘部分於保固期滿且無瑕疵待改善情事時發還之。</p>

肆、結論與建議

土地開發大樓與捷運設施共構可同步施工，避免重複挖掘和建造。例如，高雄市捷運黃線 Y15 站採「捷運出入口共構大樓」模式，捷運土地開發大樓共構與捷運出入口工程同步進行，相較先興建捷運設施後，再進行捷運開發大樓興建，可有效縮短總體工期。共構設計可事先協調建築界面，避免日後增改設計衝突；各地方政府捷運局針對此類共構案均擬定了介面設計準則，要求預留管線、供水、污水等獨立空間及防水排水措施。對投資人而言，施工整合意味著現場一次施作，提高施工效率、降低因分段施工造成的損耗與協調成本。

捷運主管機關與投資人共同統籌施工，可確保車站附屬設施與建築本體準時完工，不致影響捷運通車時程。同期施工可減少

施工介面爭議，由於共構設計與施工由捷運局和投資人依契約協調，捷運局可監督整體品質和安全標準，並避免日後為改建出入口或管線而停工重作的風險。整合施工還能降低公共空間多次施工帶來的營運風險，確保捷運車站完工即能提供完整出入口與公共設施，詳圖 9。

委建契約中，因投資人就捷運設施委託興建部分之工程價格計算、興建期程配合及履約風險，建議於甄選階段，由申請人在開發建議書中，依據其工程進度規劃先行敘明，如經捷運主管機關同意後，再納入委建契約約定，並就委建契約之品質計畫、監造計畫及監督機制明確定各方（包含營造廠、投資人委託之建築師、投資人、捷運主管機關委託專業營建管理機構、捷運主管機關）之權責及角色分工，其餘相關建議，詳表 8。

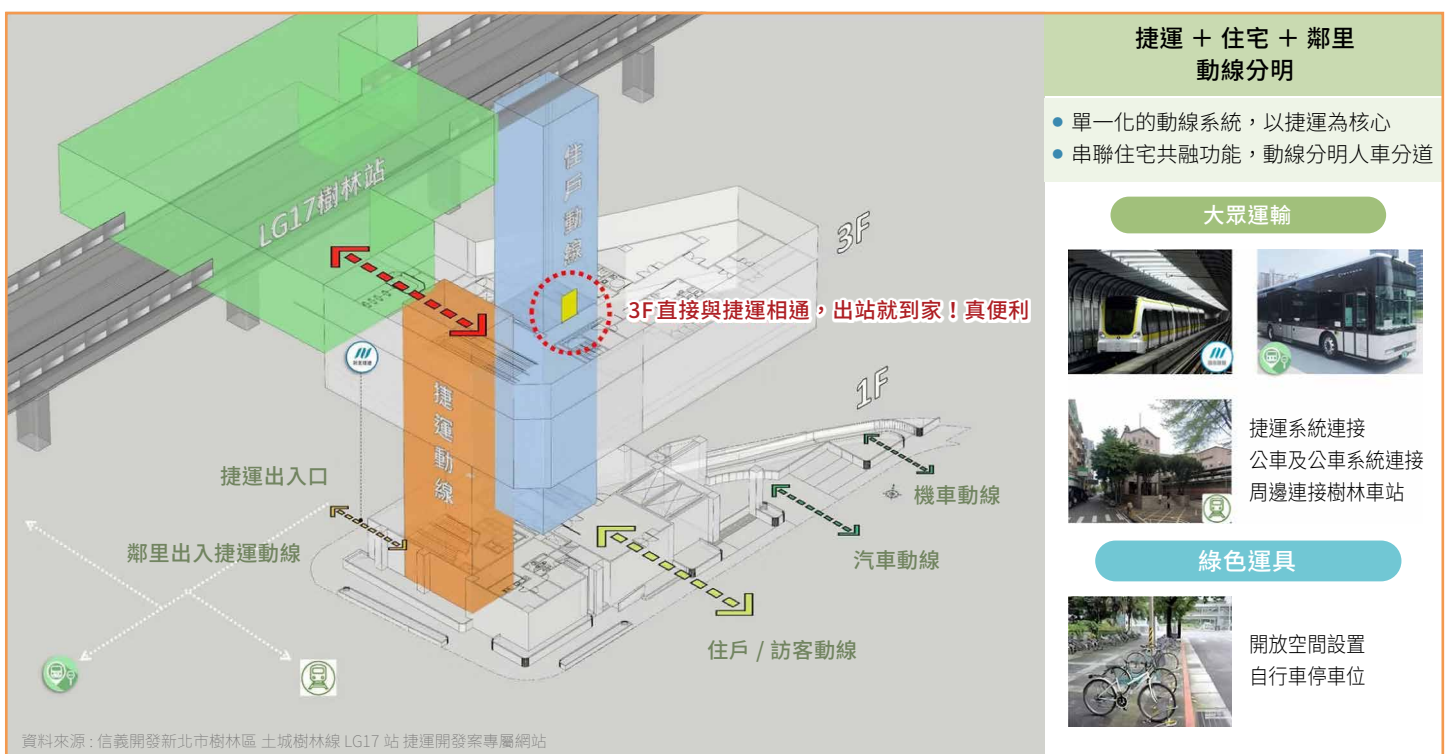


圖 9 新北市土城樹林線 LG17 站出入口捷運共構示意圖

資料來源：信義開發新北市樹林區 土城樹林線 LG17 站 捷運開發案專屬網站

表 8 委建契約相關規範之建議內容

條次	現行內容要點	建議內容
第一條 契約及契約文件	契約文件優先順序與效力	建議增加「文件矛盾時之協商機制」，避免以單方解釋為準。
第二條 工作範圍	包含設計、監造、施工全程	建議明確列出不屬於投資人責任的項目（如外部管線協調），降低不確定風險。
第三條 完工期限	固定工期，展延條件有限	1. 增列因主管機關審查或不可歸責因素延誤時的展延約定。 2. 增加對關鍵節點進度管控與通報機制，避免延誤影響營運。
第四條 契約價金總額及付款辦法	分期付款、依驗收進度給付	保留依驗收結果付款的彈性，確保工程品質。
第五條 契約構成	契約文件與圖說	建議在表說與規範不一致時，採取共同審議方式決定。
第六條 通則、責任、罰責及變更	保固、違約金、變更流程	增加對變更需求的快速審議權，縮短工程延誤。
第七條 契約生效與存執	生效條件、存執年限	規範契約資料保存與查驗權限，方便事後追溯。
第八條 通知	書面送達或其他方式	是否納入電子通知具法律效力，縮短協調時程。

參考文獻

1. 新北市政府捷運局，公告徵求「土城樹林線 LG16 站出入口 A 捷運開發案」投資人甄選文件（2024.11）。
2. 新北市政府捷運局，公告徵求「土城樹林線 LG16 站出入口 B 捷運開發案」投資人甄選文件（2024.11）。
3. 新北市政府捷運局，公告徵求「土城樹林線 LG17 站出入口 A 捷運開發案」投資人甄選文件（2024.9）。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，新北樹林線捷運開發案 LG16 站、LG17 站招商說明會簡報（2024.03.25）。
5. 高雄市政府捷運局，「高雄市大眾捷運系統黃線 Y15 站土地開發案」投資人甄選文件（2023.8）。
6. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「黃線 Y15 案」亞灣 2.0 聯合招商說明會簡報（2023.8.14）。
7. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「黃線 Y15 案」招商說明會簡報，（2023.8.25、2023.9.18）。



投稿本刊之稿約格式說明，請參考：

https://www.cec.com.tw/page/book/ceciet_submit_format.html

夢想和幸福

零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity